

Modellprojekt:

Untersuchung der Nährstoffeinträge, Hygieneparameter und des Energiekonzeptes für ein Naturbad am Beispiel des Naturbadesees im Feriendorf Eisenberg „Günter Richta“ in Kirchheim

**Abschlussbericht über ein innovatives Modellprojekt,
gefördert unter dem AZ: 26806-23 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

von

**Herrn Hannes Kurzreuther und Herrn Sebastian Flohre,
Firma Polyplan**

**Herrn Dr. E.-Peter Kulle und Herrn Dipl.-Ing. J. Müller, MFPA Weimar
Herrn Thomas Rott, Landeshauptstadt Hannover**

November 2013

Bezugsquelle für den Abschlussbericht:

**Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Jugend und Familie
Jugend Ferien-Service, OE 51.51
Ihmepassage 7
30449 Hannover**

**Modellprojekt:
Untersuchung der Nährstoffeinträge, Hygieneparameter und
des Energiekonzeptes für ein Naturbad am Beispiel des
Naturbadesees im Feriendorf Eisenberg „Günter Richta“ in
Kirchheim**

**Abschlussbericht über ein innovatives Modellprojekt,
gefördert unter dem AZ: 26806-23 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

**von
Herrn Hannes Kurzreuther und Herrn Sebastian Flohre,
Firma Polyplan
Herrn Dr. E.-Peter Kulle und Herrn Dipl.-Ing. J. Müller, MFPA Weimar
Herrn Thomas Rott, Landeshauptstadt Hannover**

November 2013

10/01		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt		 Deutsche Bundesstiftung Umwelt	
AZ	26806 - 23	Referat	23	Fördersumme	97.347 €
Antragstitel		Untersuchung der Nährstoffeinträge, Hygieneparameter und des Energiekonzeptes für ein Naturbad am Beispiel des Naturbadesees im Feriendorf Eisenberg "Günter Richta" in Kirchheim			
Stichworte		Wasser, Filter, Energie			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
36 Monate		01.07.2010		31.08.2013	
Projektphase(n)		Zwischenberichte			
Bewilligungsempfänger		Landeshauptstadt Hannover FB Jugend und Familie Ihmepassage 7 30449 Hannover		Tel 0511 16845418 Fax 0511 16844865 Projektleitung Herr Rott	
Kooperationspartner		Materialforschungs- und -prüfanstalt (MFPA) an der Bauhaus-Universität Weimar Coudraystraße 9 99423 Weimar Polyplan GmbH Ingenieurbüro für Energie- und Umwelttechnik Übersektor 14 28217 Bremen			
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Das Projekt umfasst zwei Themenschwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung von Nährstoffeinträgen und Hygieneparametern in einen Naturbadsee und Erstellung einer Nährstoffbilanz und • Entwicklung, Bau und Erprobung von Komponenten eines Nullenergie Bades. <p>Bislang existieren kaum Erkenntnisse über den durchschnittlichen Nährstoff- und Keimeintrag durch Badegäste oder andere Faktoren in Naturbäder. Bei Auslegung und Bemessung der natürlichen Aufbereitungssysteme bestehen daher erhebliche Unsicherheiten. Ziel ist daher eine solide Datengrundlage zu schaffen, um Reinigungssysteme zukünftig besser planen zu können und insbesondere einen sicheren Langzeitbetrieb zu gewährleisten.</p> <p>Naturfreibäder und (besser) Kleinbadeteiche stellen in der Öffentlichkeit die umweltbewusste Alternative zum konventionellen Beckenbad dar, wenngleich sich das in den Energiebilanzen nicht immer und ohne Einschränkungen wieder finden lässt. Das öffentliche „Nullenergie Bad“ soll aufzeigen, dass hier tragbare Konzepte wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll und machbar sind. Im Projekt sollen daher Solarantriebskomponenten entwickelt, verbaut und über den Projektzeitraum getestet werden.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<p>Ermittlung von Nährstoffeinträgen</p> <p>Im Rahmen eines zweijährigen Forschungsprojektes sollen am im Bau befindlichen Naturbadesees im Feriendorf Eisenberg „Günter Richta“ Untersuchungen zur Stoffbilanz des Systems (N, P, Keime) erfolgen. Dabei ist vorgesehen die Einträge durch Badegäste, Regenereignisse, über das Füllwasser, Vogelkot und sonstige Tiere und deren Elimination im Filter zu ermitteln. Hierzu sollen Zu- und Abflüsse festgehalten werden. Die Einträge durch Badegäste werden zunächst über separate Einzelversuche ermittelt und anschließend über die Besucherzahlen kalkuliert. Fraglich ist, ob hieraus analog zur Abwasserbehandlung ein Badegastgleichwert ermittelt werden kann.</p>					

Nullenergie Bad

Um den Betrieb des Bades möglichst ohne zusätzliche Energiekosten zu ermöglichen, soll die Pumpen- und Steuerungstechnik über Solarkomponenten erfolgen. Hierzu sind zunächst gesonderte Propellerpumpen zu entwickeln. Das Energiemanagement und die Anlagensteuerung sind zu planen. Insbesondere ein Akkubetrieb ist zu berücksichtigen, um auch bei ungünstigen Wetterbedingungen eine ausreichende Reinigungsleistung der Anlage sicherzustellen. Die entwickelten Komponenten sollen den Betrieb von Naturbädern zukünftig kostengünstiger und insbesondere umweltschonender gestalten.

Ergebnisse und Diskussion

Beide Projektteile konnten wie vorgesehen umgesetzt werden.

Ermittlung von Nährstoffeinträgen

Zur Ermittlung der Nährstoffbilanz wurden von 2011-2013 während der Badesaison wöchentlich Proben gezogen. Untersucht wurden physikalische, chemische und hygienisch-mikrobiologische Parameter. In 2011 fanden zusätzlich Paralleluntersuchungen eines externen Labors statt. Weiterhin wurden erstmals Füll- und Regenwassereinträge erfasst und die entsprechenden Nährstoffeinträge bewertet. Die Einträge durch Badegäste wurden im Rahmen von „Tonnenversuchen“ in 2013 ermittelt. Es hat sich gezeigt, dass pro Badegast mit einer Belastung von durchschnittlich 6,5 mg Phosphor und $1,5 \times 10^5$ KBE E.coli zu rechnen ist. Insbesondere konnte auch die Belastung solcher Systeme durch den Eintrag von Füllwasser, Regen, Luft und Tiere nachgewiesen werden. Hierzu sollten jedoch weitere Untersuchungen folgen.

Nullenergie Bad

Das Ziel einer Energiebedarfsreduzierung wurde im Bad durch verschiedene Maßnahmen erreicht. Bereits bei der Planung wurden die Bauteile so angelegt, dass z.B. Druckverluste in den Leitungen oder bei der Eindüsung vermieden wurden. Weiterhin wurden gesonderte Propellerpumpen entwickelt und eingesetzt, die einen ausreichenden Volumenstrom gewährleisten und gleichzeitig sehr energieeffizient sind. Sie können allerdings nur geringe Förderhöhen überwinden, was bei der Planung der Anlage zu berücksichtigen war. Die eingebaute Photovoltaikanlage wird über eine SPS bedarfsgerecht gesteuert. Sofern kein Strom benötigt wird, werden 6 Batterien geladen. Die Anlagenleistung wurde weiterhin an die Auslastung der Anlage gekoppelt, d.h. in Phasen außerhalb der Badezeit (Schlechtwetter, nachts, keine Saison) wird die Leistung reduziert.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Herr Dr. Kulle hat zu dem Projekt auf folgenden Veranstaltungen vorgetragen und es im Rahmen der Kongresse diskutiert:

"Untersuchungen am Badeseen Feriendorf Eisenberg", ABS (Arbeitskreis für Badeseen und Schwimmteiche)

Frühjahrstagung, München, 31.05.2012

„Untersuchungen zur Nährstoffbelastung und Hygiene am Naturbadeseen Kirchheim“, 7.Internationaler Schwimmteichkongress, Bregenz, 23.-25.10.2013

Fazit

Ermittlung von Nährstoffeinträgen

Die Untersuchung belegt, dass die Anlage bezüglich der nährstofflichen und hygienischen Belastung eine hohe Betriebsstabilität und Sicherheit aufweist. Im Jahr der Betriebsaufnahme war eine gewisse Einfahrphase nachzuweisen. Die Probenahme außerhalb der Saison hat gezeigt, dass auch dann ein Nährstoffeintrag durch Regen und Luft stattfindet. Da die geforderten Höchstwerte der Nährstoffe Phosphor, Nitrat-N und Ammonium-N sowie der Indikatorbakterien E.coli und Enterokokken während der Projektlaufzeit nahezu ausnahmslos eingehalten wurden, ist festzustellen, dass naturnahe Schwimm- und Badeteiche mit biologischer Wasseraufbereitung eine Alternative zu herkömmlichen Chlorbädern darstellen.

Nullenergie Bad

Die Untersuchung hat ergeben, dass der Gesamtstrombedarf der Anlage mit 2.550 kWh in 2 Jahren sehr gering war. Vergleichbare Naturbäder haben einen Jahresverbrauch von ca. 30.000 kWh im Jahr. Die Photovoltaikanlage konnte 92 % und damit den Großteil des Strombedarfes decken. Damit musste trotzdem noch Strom aus dem Netz zugeführt werden, ein Null Energiebad ist nicht entstanden. In Zusammenhang mit Projektteil 1 ist wichtig festzustellen, dass die Anlage trotz der konstruktiven und energetischen Maßnahmen die hygienischen und physikalisch-chemischen Grenzwerte fast ausnahmslos erfüllt hat und eine sehr gute Wasserqualität aufwies.

Inhaltsverzeichnis:

	Tabellenverzeichnis, Abbildungsverzeichnis, Anlagenverzeichnis	Seite 7
0.	Zusammenfassung	Seite 8
1.	Einleitung	Seite 9
2.	Bauprojekt	Seite 10
3.	Beschreibung Naturbadeseesee	Seite 11
4.	Kooperationen	Seite 12
A 1	Abschlussbericht MFPA Weimar	
A 2	Abschlussbericht Polyplan	

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1	Bewilligungen und Voruntersuchungen	Seite 10
Tabelle 2	Nutzungsbereiche	Seite 11

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1	Ferendorf Eisenberg	Seite 9
Abbildung 2	Luftaufnahme	Seite 11
Abbildung 3	Naturbadesee	Seite 13

Anlagen:

Anlage 1	Abschlussbericht MFPA Weimar	A 1
Anlage 2	Betriebstagebuch Polyplan	A 2

0. Zusammenfassung

Das Modellprojekt Untersuchung der Nährstoffeinträge, Hygieneparameter und des Energiekonzeptes für ein Naturbad am Beispiel des Naturbadesees im Feriendorf Eisenberg „Günter Richta“ in Kirchheim wurde von der Deutschen Bundestiftung Umwelt mit Datum vom 08.06.2010 genehmigt. Ein vorzeitiger Maßnahmebeginn erfolgte mit Schreiben vom 14.08.2009 zum 17.08.2009. Die Projektlaufzeit war zunächst vom 08.06.2010 für 36 Monate bewilligt. Eine Laufzeitverlängerung wurde mit Schreiben vom 10.07.2013 bis zum 31.08.2013 genehmigt.

Das Projekt umfasst zwei Themenschwerpunkte:

- Untersuchung von Nährstoffeinträgen und Hygieneparametern
- Erstellung eines Energiekonzeptes für ein Nullenergiebad

Beide Aspekte konnten während der Projektzeit bearbeitet werden. Nährstoffeinträge und Hygieneparameter wurden in dem 3-jährigen Projekt über Probenentnahmen geprüft und bewertet. Insbesondere der Nährstoffeintrag durch Badende konnte durch „Tonnenversuche“ quantifiziert und qualifiziert werden. Im Ergebnis wurde eine Nährstoffbilanz für den See erstellt, die Rückschlüsse auf die Eliminationsleistung von entsprechenden Filteranlagen zulässt und zukünftig bei der Dimensionierung neuer Filteranlagen für Naturbadeseen helfen kann.

Der zweite Teil des Modellprojektes befasst sich mit der Entwicklung, dem Einbau und der Erprobung von Komponenten eines Nullenergie Bades. Naturbadeseen sind hinsichtlich der Reinigungstechnik und des Verzichtes auf Chemikalien eine sinnvolle ökologische Alternative zu herkömmlichen Bädern, die Energiebilanz ist jedoch meist nicht besser. In dem Modellprojekt wurde daher eine Photovoltaikanlage installiert, die die Energiekosten des Bades während des Betriebes senkt. Energiesparende Pumpen sorgen zusätzlich für eine Optimierung der Energiebilanz. Für Zeiten ohne Sonnenschein wurden Batterien vorgesehen, die Energie speichern. Das System wird zentral über eine ZPS gesteuert, die Pumpenlaufzeiten, Batterieladung oder Reststromeinspeisung abstimmt.

Träger des Modellprojektes war die Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Jugend und Familie. Die wissenschaftlichen Untersuchungen und die Evaluation erfolgte für den ersten Projektteil durch die MFPA Weimar.

Planung, Bau, Begleitung, Wartung und Auswertung der Energiebilanz des Bades übernahm die Firma Polyplan.

Beide Projektteile wurden erfolgreich abgeschlossen.

1. Einleitung

Die Landeshauptstadt Hannover ist Träger des Feriendorfes Eisenberg in Kirchheim / Hessen. Die Kinder- und Jugendhilfeeinrichtung wurde 1977 eröffnet. Sie liegt im hessischen Bergland ca. 100 Km südlich von Kassel auf rund 550 m über NN in einem Landschaftsschutzgebiet. Am Südhang des Eisenberges stehen fünf Gehöfte und drei Reihenhäuser für Gäste zur Verfügung. Insgesamt werden bis zu 350 Übernachtungsplätze angeboten.

In 2012 haben 6.097 Gäste die Ferieneinrichtung besucht. Es wurden 28.946 Übernachtungen gebucht. Ca. 33 % unserer Gäste kamen aus Hannover, 13 % aus Niedersachsen, der übrige Teil aus dem restlichen Bundesgebiet und einige wenige Gäste aus dem Ausland. Die Landeshauptstadt Hannover führt in der Einrichtung zahlreiche Ferienfreizeiten durch. In den letzten Jahren werden in der Einrichtung verstärkt Projekte für sozial oder finanziell benachteiligte junge Menschen sowie für Personen mit Migrationshintergrund angeboten. Weitere Nutzergruppen sind z.B. Schulen, Kindergärten, Jugendfeuerwehren, Sportvereine, Jugendverbänden, Kirchengruppen... .



Abbildung 1: Feriendorf Eisenberg

Sowohl im Feriendorf als auch in der Umgebung gibt es eine Vielzahl von attraktiven Möglichkeiten zur Freizeitgestaltung. Um die Attraktivität der Einrichtung weiter zu steigern, war der Bau eines Badesees seit längerem in Planung.

Da der Betrieb von öffentlichen Freibädern und Badestellen derzeit aufgrund der finanziellen Lage vieler Städte und Kommunen in Frage steht, entstand die Idee ein Modellprojekt zu entwerfen, welches sich mit der Reduzierung der Betriebskosten eines solchen Bades beschäftigt. Hierbei war zu berücksichtigen, dass herkömmliche Bäder insbesondere durch Kosten für Energie und Hygienemaßnahmen belastet sind. Beide Aspekte wurden daher aufgegriffen und bei der Konstruktion des Bades berücksichtigt.

Die entsprechenden Maßnahmen sind in den Anlagen erläutert.

2. Bauprojekt

In 2008 wurden von verschiedenen Firmen Vorschläge für den Bau des Naturbadesees im Feriendorf vorgestellt. Nach Auswertung der Vorschläge beauftragte der Bauherr im Juni 2008 die Firma Polyplan mit der Vorplanung für das Projekt. Am 24.07.2008 fand im Feriendorf eine Startschussbesprechung statt, auf der alle zu beteiligenden Personen und Institutionen über das Projekt informiert wurden.

Zunächst waren unterschiedlich Bewilligungen einzuholen und Voruntersuchungen durchzuführen:

Genehmigungen / Untersuchungen	Behörde / Institut	Sachgebiet	Erstellt
Wasserprobe	Labor für Umweltanalytik		20.10.2008
Baugrundgutachten	Büro für Umwelt und Geologie		08.09.2008
Wasserrechtliche Erlaubnis	Landkreis Hersfeld Rotenburg	Wasser und Bodenschutz	20.10.2009
Landschaftsschutzrechtliche Genehmigung	Regierungspräsidium Kassel	Obere und Untere Naturschutzbehörde	30.07.2009
Baugenehmigung	Landkreis Hersfeld Rotenburg	Bauaufsichtsbehörde	06.08.2009

Tabelle 1: Genehmigungen/Voruntersuchungen

Die Arbeiten wurden dann im Februar 2010 ausgeschrieben. Gegen den Vergabevorschlag des Bauträgers klagte eine nicht berücksichtigte Firma, vor Baubeginn musste dieses Verfahren abgewartet werden. Mit Beschluss des Landgerichtes Hannover vom 18.06.2010 wurde dann die Rechtmäßigkeit des Vergabeverfahrens endgültig bestätigt. Die Aufträge wurden bereits nach der mündlichen Verhandlung am 13.04.2010 vergeben. Baubeginn war am 15.06.2010.

Leider ergaben sich während der Bauphase einige Probleme insbesondere mit dem Baugrund, die zu einer Kostenerhöhung führten.

- Bereits Ende Juni war eine Kalkbeimischung zur Stabilisierung des Baugrundes erforderlich, da Oberflächenwasser den Baufortschritt gefährdete.
- Im Juli wurde dann festgelegt statt der langen Anschlussleitung ein kleines Technikhäuschen am See zu errichten.
- Im Oktober 2010 kam es oberhalb des Bauplatzes zu einem Abrutschen des Hanges durch Grundwasser in tieferen Bodenschichten. Dieser Befund machte umfangreiche Sicherungs- und Entwässerungsarbeiten notwendig. Der Hang wurde mit 7 Rigolen versehen, die bis zu 4,5 m tief in den Hang eingebracht wurden.

Der Badesee wurde am 13.05.2011 seiner Bestimmung übergeben und feierlich eingeweiht.

3. Beschreibung Naturbadesee

Der Nichtschwimmerbereich besteht aus einem halbkreisförmigen Becken. Es bestehen zwei separate Strandzugänge. Zwischen den Strandzugängen befindet sich ein verbindendes Holzdeck. Auf der gegenüberliegenden Seite im tieferen Bereich befindet sich eine senkrechte Wand aus Winkelstützen. Diese Trennwand ist mit einem Profil aus Holz abgedeckt. In die Trennwand sind 3 Vertiefungen eingelassen, die als kontinuierlicher Überlauf in den Bereich des submersen Bodenfilters dienen. Das Nichtschwimmerbecken läuft zum Strandbereich flach aus. Becken und Strand sind mit Kies 2/5 mit einer Auflage von 0,3 bis 0,1 m Mächtigkeit befüllt. Das Becken wird mit einer 2,0 mm PEHD-Kunststoffdichtungsbahn abgedichtet. Die Abdichtung verläuft in einer Bahn unterhalb des Beckens und der Aquakultur sowie des Strandes.

Zusammenstellung der Nutzungsbereiche	Fläche	Wassertiefe
Nichtschwimmer	955 m ²	0 - 1,30 m
Filterfläche	375 m ²	0 - 0,50 m

Tabelle 2: Nutzungsbereiche

Der Nichtschwimmerbereich von insgesamt 955 m² besteht aus einem Flachwasserbereich mit 0 bis 0,6 m Tiefe, daran schließt sich ein zweiter Bereich mit einer Wassertiefe von 0,80 bis zu 1,30 m an. Die Bereiche sind mit Schubschwellen voneinander getrennt, welche optisch gekennzeichnet sind.



Abbildung 3: Luftaufnahme

4. Kooperation

Das Modellprojekt gliedert sich in zwei Bereiche, für die unterschiedliche Kooperationspartner gefunden wurden.

Mit der Untersuchung der Nährstoffeinträge und der Hygieneparameter wurde die MFPA Weimar, Abteilung Chemie und Umwelt betraut. Im Rahmen des mehrjährigen Forschungsprojektes wurde die Entwicklung der Wasserqualität hinsichtlich der physikalischen, chemischen und hygienisch-mikrobiologischen Parameter untersucht. Dies zeigt die Eliminationsleistung des biologischen Filters und lässt Rückschlüsse für die zukünftige Planung von Naturbädern zu.

Der zweite Teil des Modellprojektes befasste sich mit einem Energiekonzept für das Naturbad. Durch den Einbau einer Photovoltaikanlage, einer Speichereinheit und neuer Pumpentechnik konnte der Energieverbrauch des Bades erheblich gesenkt werden. Dies reduziert die Betriebskosten für den Träger und erhöht die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen.

Über die Durchführung und wissenschaftlichen Begleitung des Modellprojektes haben die Projektpartner mit Datum vom 18.10.2010 eine entsprechende Kooperationsvereinbarung geschlossen.

Die Zusammenarbeit der Kooperationspartner erwies sich im Projektverlauf als sehr förderlich. Die von der MFPA gesammelten Daten halfen die Anlage zu optimieren, Schwachstellen aufzudecken und abzubauen. Um die Entwicklung des Badesees aufzuzeigen, wurden die Daten auch dem Gesundheitsamt des Landkreises Hersfeld Rotenburg zur Verfügung gestellt.

Die Mitarbeiter des Feriendorfes unterstützten sowohl bei Bau und Wartung der Filteranlage und der Photovoltaikanlage als auch bei der Probennahme. Dadurch, dass die Anlage per Modem von Polyplan direkt gesteuert werden kann, konnten kleinere Störungen meist umgehend erledigt werden. Die Fernwartung hat sich als sehr hilfreich erwiesen.

Die Zusammenarbeit wird von allen Beteiligten als sehr vertrauensvoll und erfolgreich angesehen.

Weitere Kooperationspartner beim Bau des Naturbadesees waren die Gemeinde Kirchheim und die Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen, welche das Projekt mit der Bereitstellung von EU- Mitteln aus dem Strukturfonds für regionale Entwicklung gefördert haben.

Zu den einzelnen Modellprojektteilen wurden getrennte Abschlussberichte verfasst, die als Anlagen beigefügt sind.





Untersuchung der Nährstoffeinträge, Hygieneparameter und des Energiekonzeptes für ein Naturbad am Beispiel des Naturbadesees im Feriendorf Eisenberg „Günter Richta“ in Kirchheim

Bericht

vorgelegt bei der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt
(DBU)
Osnabrück

Projektleitung: Landeshauptstadt Hannover
FB Jugend und Familie

Abteilungsleiter:

Dipl.- Ing. J. Müller
MFPA Weimar
Abteilung Chemie und Umwelt
Coudraystrasse 9
99423 Weimar

Bearbeiter:

Dr. E.- Peter Kulle

Weimar, 30.10.2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Aufgabenstellung.....	1
3	Material und Methoden	2
3.1	Naturbadesee Eisenberg „Günter Richta“ in Kirchheim	2
3.2	Probenahme	4
3.3	Physikalische Parameter.....	5
3.3.1	Wassertemperatur.....	5
3.3.2	Sichttiefe.....	5
3.4	Chemische Parameter.....	5
3.4.1	pH-Wert	6
3.4.2	Elektrische Leitfähigkeit.....	6
3.4.3	Redoxspannung	6
3.4.4	Gesamt-Phosphor	6
3.4.5	Ammonium-Stickstoff	7
3.4.6	Nitrat-Stickstoff	7
3.5	Hygienisch-mikrobiologische Parameter	7
3.5.1	<i>Escherichia coli</i>	7
3.5.2	Enterokokken	7
3.5.3	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8
3.6	Zusammenfassung.....	8
4	Ergebnisse und Auswertung.....	9
4.1	Badebecken.....	10
4.1.1	Physikalische Parameter.....	10
4.1.2	Chemische Parameter.....	11
4.1.3	Hygienisch-mikrobiologische Parameter.....	15
4.2	Flachwasser und Filter	16
4.2.1	Physikalische Parameter.....	16
4.2.2	Chemische Parameter.....	16
4.2.3	Hygienisch-mikrobiologische Parameter.....	21
4.3	Füllwasser und Regenwasser	24
4.4	Frachtbetrachtung	27
4.4.1	Hydraulische Frachten (Füllwasser, Regenwasser)	28
4.4.2	Nährstoffe (Phosphor, Stickstoff)	30
4.4.3	"Tonnenversuche"	34
5	Zusammenfassung und Ausblick	35

Literaturverzeichnis I

Abkürzungsverzeichnis IV

Anhang..... VI

1 Einleitung

Erholung und Freizeitgestaltung in und mit dem Element Wasser besitzen in unserer heutigen Gesellschaft einen hohen Stellenwert. Naturnahe Schwimm- und Badeteichanlagen mit biologischer Wasseraufbereitung stellen eine umweltbewusste und chlorfreie Alternative zum herkömmlichen Schwimmbad dar. Schwimm- und Badeteiche sind der Natur nachempfundene Ökosysteme, bei denen die Selbstreinigungsfähigkeit eines Gewässers gezielt ausgenutzt wird. Die Wasseraufbereitung funktioniert vollbiologisch. Vor allem der Badende selbst bringt Verschmutzungen ein, die zu einem beträchtlichen Algenwachstum führen können und so dem Wasser einen unästhetischen Charakter verleihen. Zu hygienischen und gesundheitlichen Problemen kann es bei dem Vorhandensein von *Cyanobakterien* und pathogenen Keimen kommen. Zum Schutz des Badenden gelten deshalb in öffentlichen Anlagen gewisse Anforderungen an die Wasserqualität. Es werden stoffliche Parameter, wie Phosphor- und Nitratgehalt, physikalische Parameter, wie Sauerstoffsättigung und Sichttiefe und hygienisch-mikrobiologische Parameter in Form von Indikatorkeimen erfasst. Mit den Empfehlungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL Bonn) 2003 und den daraus weiterentwickelten Richtlinien (2011) ein allgemeingültiges Regelwerk für Bau, Planung, Instandhaltung und Betrieb solcher Schwimm- und Badeteichanlagen geschaffen.

2 Aufgabenstellung

Im Rahmen des mehrjährigen Forschungsprojekts sollten die Nährstoffeinträge und Hygieneparameter eines Freibades mit biologischer Wasseraufbereitung am Beispiel des Naturbadesees im Feriendorf Eisenberg „*Günter Richta*“ ermittelt werden. Besonderes Augenmerk galt hierbei den Einträgen von Nährstoffen und Keimen (*E. coli*) durch die Badenden („Tonnenversuche“), über Regenereignisse und das Füllwasser, sowie deren Eliminierung im Filter. Die Wirksamkeit der Wasseraufbereitung des Filterkörpers sollte anhand der zeitlichen Nährstoff- und Keimbelastung des Wassers in den Prozessstufen erfasst und hinsichtlich der Reinigungsleistung und Betriebsstabilität im Rahmen einer Stoffbilanz bewertet werden.

3 Material und Methoden

Hinsichtlich der Erfassung und Überwachung der relevanten chemischen und Hygiene-Parameter *Pseudomonas aeruginosa*, *E.coli*, Enterokokken, Sichttiefe und Gesamt-Phosphor liefen im Jahre 2011 Paralleluntersuchungen eines hessischen Labors im Auftrag der Gesundheitsbehörde Bad Hersfeld.

3.1 Naturbadesee Eisenberg „Günter Richta“ in Kirchheim

Der in den Jahren 2010/2011 von der Firma Polyplan GmbH errichtete Naturbadesee am Eisenberg in Kirchheim liegt ca. 550 m über NN in der Berglandschaft des hessischen Knüllgebirges. Hier betreibt die Stadt Hannover das Kinderferiendorf „Günter Richta“. Das Feriendorf ermöglicht insbesondere auch Kindern und Jugendlichen aus sozial schwachen Familien Erholung und Entspannung. So wird es von Kindergärten, Schulklassen und auch Sportvereinen gern genutzt (vgl. *Abb. 3*).

Der Schwimm- und Badeteich besteht aus einer Nutzwasserfläche von 855 m² (Volumen: 556 m³) und einem Regenerationsbereich von 375 m² (Volumen: 244 m³). Die Nutzwasserzone ist als Nichtschwimmerbereich mit einer maximalen Tiefe von 1,20 m ausgestattet. Der Badebereich ist nierenförmig angelegt und läuft zum Strandbereich flach aus. Es existieren zwei separate Strandzugänge, welche durch einen großen Holzsteg voneinander getrennt sind (vgl. *Abb. 1*). In der Mitte des Aufbereitungsbereiches befindet sich ein Quellstein, aus dem das Füllwasser der kommunalen Trinkwasserversorgung eingespeist wird. Drei Skimmer im Regenerationsbereich sorgen für eine zuverlässige Absaugung von Oberflächenwasserverschmutzungen (vgl. *Abb. 1* und *Abb. 2*).

Der Aufbereitungsbereich befindet sich im Becken des Badebereiches, man spricht daher von einem Einkammer- System. Beide Bereiche sind durch eine Trennwand voneinander getrennt. Das abgebadete Wasser strömt an drei abgesenkten Überlaufkanten über die Trennwand in den Regenerationsbereich. Nach der Passage des Filterkörpers wird das aufbereitete Wasser zurück in den Badebereich transportiert. Als Filterkörper dient ein submerser Bodenfilter, der partiell mit submersen und emersen Hydrophyten bewachsen ist.



Abb.1: *Badebecken mit Holzsteg, Juli 2011*



Abb. 2: *Regenerationsbereich mit 3 Skimmern und Quellstein, August 2012*

Das Naturbad ist eine öffentliche, nicht kostenpflichtige Anlage, bei der die Kontrolle der Besucherzahl aus betriebstechnischen Gründen nicht erfolgen kann.

Der Entwurfsplan des Badesees ist dem **Anhang 01** zu entnehmen.



Abb. 3: *Naturbadesees, besucht, August 2012*

3.2 Probenahme

Die Probenahme erfolgte wöchentlich innerhalb der Badesaison von Mitte Mai bis Mitte September 2011, 2012 und Mai bis Juni 2013. Einige Probenahmen erfolgten außerhalb der Badesaison. Die Parameter pH- Wert, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und Redoxspannung wurden vor Ort im jeweiligen Wasserkörper gemessen. Dabei wurden die entsprechenden Elektroden/Sensoren an unterschiedlichen Stellen im Badesee, Filter und Flachwasser über dem Filter eingetaucht und die ausgegebenen Werte notiert. Aus diesen Werten wurde der Mittelwert gebildet. Die Probeentnahme erfolgte manuell mit einem Schöpfgefäß, welches an einer Teleskopstange befestigt war. Das Schöpfgefäß wurde zuvor im Labor gereinigt, mit Aqua dest. intensiv gespült und anschließend in eine saubere Kunststoffolie eingewickelt. Damit sollten Verschmutzungen bis zur Probenahme verhindert werden.

Um die Heterogenität dieser Parameter in der gesamten Anlage zu erfassen, erfolgte die Probenahme ebenfalls an unterschiedlichen Stellen. Ein intensiv gereinigter und mit Aqua dest. gespülter Eimer wurde gefüllt und aus dessen Mischprobe die Probeflaschen befüllt. Die Proben wurden in einer Kühltasche gelagert und transportiert.

Um das Filterwasser zu beproben, mussten die Probenentnahmeschächte geöffnet werden. Die Schachtdeckel waren immer wieder Anlaufstelle von Vögeln. Nach einem Regenguss blieb auf den Abdeckungen der Schächte Rückstandswasser zurück, welches auf keinen Fall bei der Deckelabnahme in den Filter gelangen durfte.

Der Gesamt-Phosphor- Gehalt, die Ammonium- N- und Nitrat- N- Konzentrationen sowie die Keimzahl an *E.coli* und Enterokokken wurden im Labor der MFPA analysiert. Die Bestimmung des Parameters *Pseudomonas aeruginosa* erfolgte durch das Labor Dr. Mitsching, Weimar.

3.3 Physikalische Parameter

3.3.1 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur wurde mit einem Handmessgerät (WTW) vor Ort gemessen, welches in das Gerät zur Leitfähigkeitsmessung integriert war. Die Messung erfolgte im Badebeckenwasser, im Filterwasser und im Flachwasser über dem Filter [16] [17].

3.3.2 Sichttiefe

Die Sichttiefe wurde visuell ohne Hilfsmittel festgestellt, da an allen Tagen der Untersuchungen eine Sichttiefe bis auf den Grund des Badeteiches gegeben war [18].

3.4 Chemische Parameter

Die chemischen Parameter pH- Wert, elektrische Leitfähigkeit, Gesamt- Phosphor- Gehalt, Ammonium- Gehalt und Nitrat- Gehalt wurden für die Bereiche Badebecken, Filter, Flachwasser über dem Filter, Füllwasser und Regenwasser bestimmt. Eine Ausnahme stellte die Redoxspannung dar, denn sie wurde nur für die Bereiche Badebecken, Filter und Flachwasser über dem Filter bestimmt.

3.4.1 pH- Wert

Der pH-Wert ist eine dimensionslose Kennzahl, die als der negativ dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration definiert ist. Die Bestimmung erfolgte nach der DIN EN ISO 10523:2012 mit Hilfe des pH-Messgerätes „pH 320“ der Firma WTW [8] [16]. Bei den pH-Elektroden handelte es sich um elektrochemische Sensoren. Der pH- Wert wurde von der Anzeige des Gerätes abgelesen und dokumentiert.

3.4.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit liefert eine Aussage über die gelösten, ionischen Bestandteile einer wässrigen Lösung. Dieser Summenparameter ist abhängig von der Ionenart, der Ionenkonzentration sowie von der Temperatur [21]. Die Bestimmung erfolgte gemäß der DIN EN 27888:1993 mit einem portablen Leitfähigkeits-Messgerät (Konduktometer Cond 197i) der Firma WTW [22]. Da die elektrische Leitfähigkeit temperaturabhängig ist, musste diese Temperaturabhängigkeit korrigiert werden. Die Korrektur erfolgte geräteintern über Temperaturkorrekturfaktoren [16].

3.4.3 Redoxspannung

Die Redoxspannung liefert einen Hinweis auf das Vorhandensein von oxidierenden oder reduzierenden Stoffen im Wasser und dient als Maß für die Elektronenaktivität [16] [24]. Sie wurde mit dem Gerät „pH 320“ von WTW bestimmt, welches für die Messung des pH- Wertes und der Redoxspannung ausgelegt ist. Als Grundlage diente die DIN 38404-6:1984.

3.4.4 Gesamt- Phosphor (P_{ges})

Der P_{ges} - Gehalt der Wasserprobe wurde mittels Aufschluss nach DIN EN ISO 6878:2004 bestimmt. Dabei handelt es sich um eine photometrische Bestimmung des Gesamt-Phosphor-Gehaltes nach dem Aufschluss mit Kaliumperoxodisulfat. Für diesen Ansatz wurde ein Test- Kit der Firma Merck-Chemicals verwendet.

3.4.5 Ammonium- Stickstoff

Ammonium- Stickstoff kommt im Wasser, abhängig vom pH- Wert, in Form von NH_4^+ - Ionen, NH_4OH oder NH_3 vor [26]. Die Bestimmung erfolgte gemäß der DIN 38406-5:1983. Die Ammonium- Bestimmung beruht auf einer photometrischen Messung.

3.4.6 Nitrat- Stickstoff

Der Nitrat- N wurde gemäß der DIN 38405-9:2011 bestimmt.

3.5 Hygienisch-mikrobiologische Parameter

Die Gehalte an *E.coli*, Enterokokken und *Pseudomonas aeruginosa* in den Wasserproben wurden in KBE angegeben. Darunter wird im Allgemeinen die Anzahl von Mikroorganismen in einer festgelegten Wassermenge verstanden.

3.5.1 Escherichia coli

Die Quantifizierung von *E.coli* im Badebeckenwasser, im Filterwasser und im Flachwasser über dem Filter erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 9308-1 sowie mit speziellen Nährkartonscheiben (Selektivmedien) „ECD-MUG- NKS“ (analog „Schweizerisches Lebensmittelbuch“) und „Colichrom- NKS“. Bei den Nährkartonscheiben (NKS) handelt es sich um sterile Trockennährböden aus Zellulosekarton mit integrierten Nährstoffen. Sie werden in einer sterilen Petrischale geliefert und sind im Labor leicht und praktikabel handhabbar [28].

3.5.2 Enterokokken

Die Zahl der (intestinalen) Enterokokken im Badebeckenwasser, im Filterwasser und im Flachwasser über dem Filter erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 7899-2 sowie mit den speziellen Nährkartonscheiben „Enterokokken- NKS“ (Rezeptur nach Trinkwv. 2001, ISO 7899) und „Azid- NKS“.

3.5.3 Pseudomonas aeruginosa

Pseudomonas aeruginosa wurde im Labor „Dr. Mitsching- Labor für Hygiene und Mikrobiologie“ in Weimar bestimmt. Die Bestimmung erfolgte gemäß der DIN EN ISO 16266:2008.

3.6 Zusammenfassung

In der *Tabelle 1* wurden die Bestimmungen der physikalischen, chemischen und hygienisch- mikrobiologischen Parameter zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1: Überblick über die bestimmten Parameter

Parameter		Bestimmungsmethode	Untersuchung
physikalisch	Sichttiefe	visuell	vor Ort
	Wassertemperatur	DIN 38404-4	vor Ort
chemisch	Ammonium	DIN 38406-5	Labor MFPA
	Gesamtphosphor	DIN EN ISO 6878	Labor MFPA
	Leitfähigkeit	DIN EN 27888	vor Ort
	Nitrat	DIN 38405-9	Labor MFPA
	pH-Wert	DIN EN ISO 10523	vor Ort
	Redoxspannung	DIN 38404-6	vor Ort
hygienisch- mikrobiologisch	<i>E. coli</i>	DIN EN ISO 9308-1; ECD-MUG-, Colichrom- NKS	Labor MFPA
	Enterokokken	DIN EN ISO 7899-2; Enterokokken-, Azid-NKS	Labor MFPA
	<i>P. aeruginosa</i>	DIN EN ISO 16266	Labor Dr. Mitsching

4 Ergebnisse und Auswertung

Aufgrund der Tatsache, dass bei der Messwertermittlung messtechnisch bedingte Analyseergebnisse wie $<0,001$, $<0,01$ und $<0,1$ aufgezeichnet wurden, mussten die nachfolgenden Annahmen getroffen werden (vgl. *Tab. 2*).

Tabelle 2: *Getroffene Annahmen bezüglich der messtechnisch bedingten Grenzwerte*

Parameter	Grenzwert	Annahme
Ammonium-N	$<0,001$	0
	$<0,01$	0,005
Nitrat-N	$<0,001$	0
	$<0,01$	0
	$<0,1$	0,05
Gesamt-Phosphor	$<0,001$	0

Die Werte der jeweiligen Parameter wurden in Diagrammen des Tabellenkalkulationsprogrammes Excel 2007 in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen und ausgewertet. Die einzelnen Messwerte wurden als Punkte dargestellt. Wenn seitens der FLL 2011 „Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm- und Badeteiche)“ Höchstwerte bzw. Minimalwerte (Richtwerte) vorgegeben waren, wurden diese in dem jeweiligen Diagramm eingefügt oder im dazugehörigen Text vermerkt.

In den Untersuchungen wurden Ammonium- Stickstoff- bzw. Nitrat- Stickstoff- Werte erfasst. Um einen Vergleich mit den geforderten Höchstwerten nach FLL-Richtlinie zu ermöglichen, wurden die Grenzwerte umgerechnet.

4.1 Badebecken

4.1.1 Physikalische Parameter

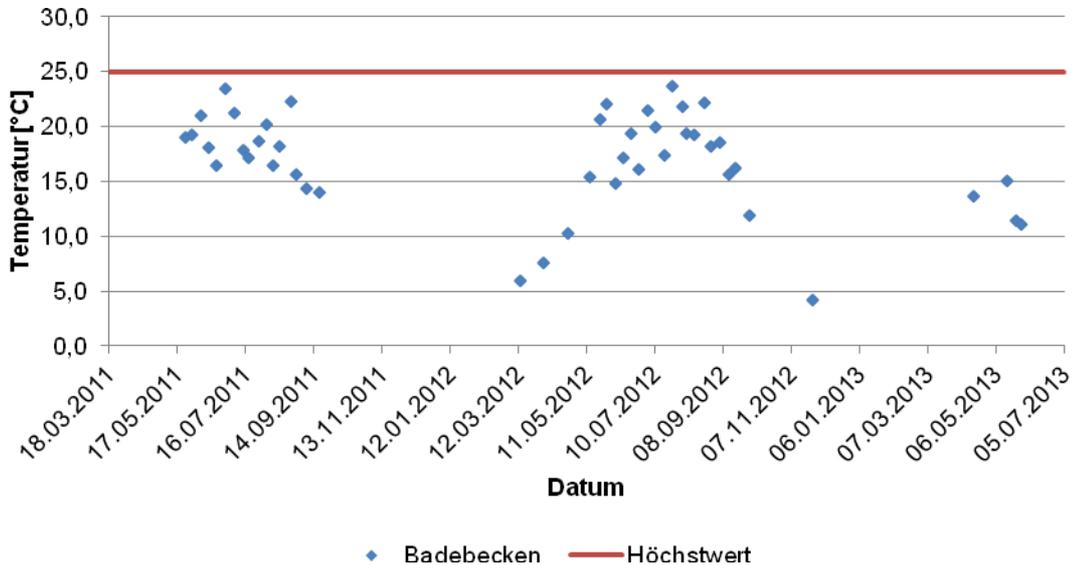


Abb. 4: Wassertemperatur des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchstwert nach FLL- Richtlinie 2011

In *Abbildung 4* wird ersichtlich, dass in den Sommermonaten höhere Wassertemperaturen als außerhalb der Badesaison gemessen wurden. Die Wassertemperaturen folgten den Umgebungstemperaturen und unterlagen somit den jahreszeitlichen Schwankungen. Im Badebecken blieben die Wassertemperaturen während des gesamten Versuchszeitraumes unter dem in der FLL- Richtlinie 2011 geforderten Richtwert von 25°C.

Länger anhaltende Temperaturen über 25°C können das Wachstum von Phytoplankton und pathogenen Keimen erhöhen. Während erhöhte Gehalte an Phytoplankton (mit Ausnahme der Blaualgen= *Cyanobakterien*) für den Menschen nicht problematisch sind, können erhöhte Konzentrationen an Krankheitserregern eine Gefahr darstellen [29].

An allen Untersuchungstagen war eine Sichttiefe bis auf den Grund des Badebeckens gegeben. Es gab keine Einschränkungen durch Eintrübungen oder auffälliges Algenwachstum.

4.1.2 Chemische Parameter

Die aufgezeigte Stabilität des **pH- Wertes** (vgl. *Abb. 5*) ist bedeutsam für das Funktionieren eines Ökosystems, z. B. Badeteich, denn große Schwankungen des pH-Wertes führen zu einer Stresssituation der im Wasser lebenden Makro- und Mikroorganismen. Der Abbau der eingebrachten Stoffe kann dadurch weniger intensiv oder unvollständig erfolgen [30].

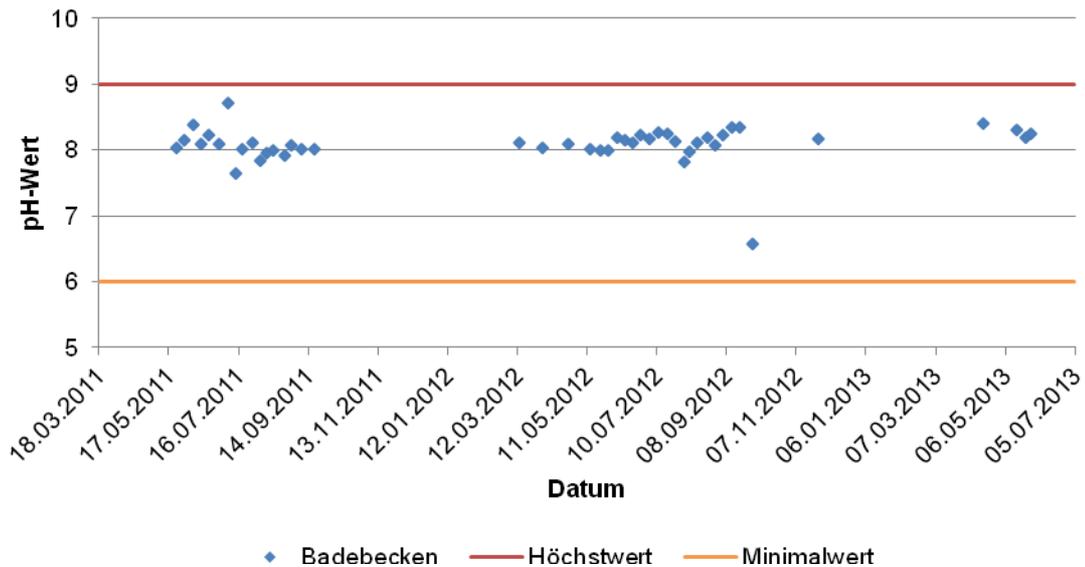


Abb. 5: pH- Wert des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchst- bzw. Minimalwert nach FLL- Richtlinie 2011

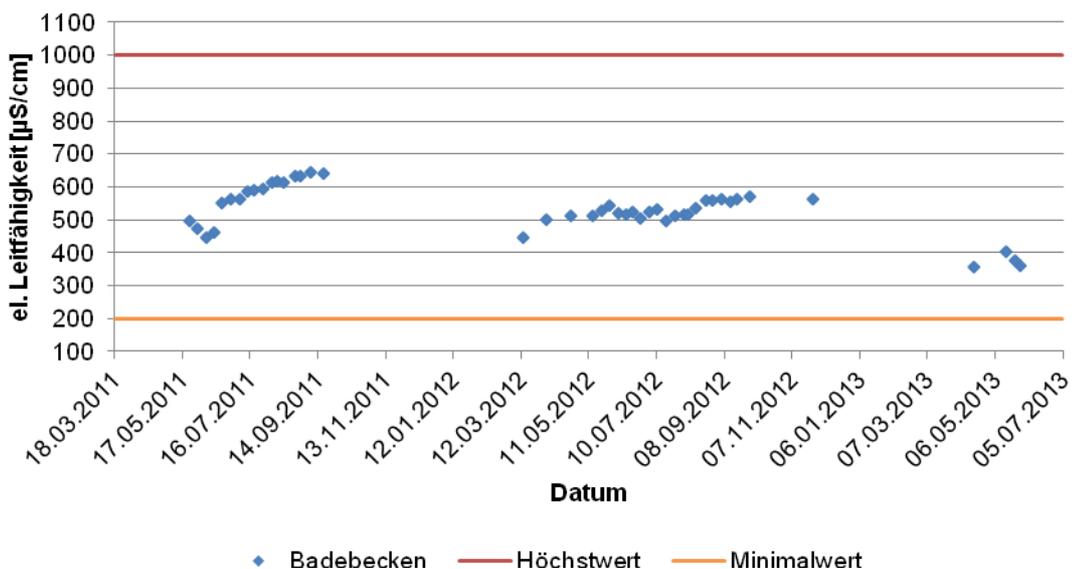


Abb. 6: Elektrische Leitfähigkeit des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchst- bzw. Minimalwert nach FLL- Richtlinie 2011

Im Jahr 2011 wurden für die **elektrische Leitfähigkeit** des Badebeckenwassers Werte im Bereich zwischen 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ erfasst. In 2012 bewegte sich die elektrische Leitfähigkeit zwischen 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 580 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Monate Mai und Juni 2013 zeigten eine, im Vergleich zu den vorherigen Jahren relativ geringe Leitfähigkeit (vgl. *Abb. 6*). Die Ursache hierfür liegt höchstwahrscheinlich in den hohen Anteilen Regenwasser in diesem Zeitraum. In *Abbildung 23* wird erkenntlich, dass das Regenwasser eine sehr geringe Leitfähigkeit besitzt und bei hoher Eintragsmenge in der Lage ist, die elektrische Leitfähigkeit der gesamten Anlage zu dominieren.

Der Verlauf der Messwerte der **Redoxspannung** in *Abbildung 7* zeigte erhebliche Schwankungen, lag aber immer im eindeutig positiven Bereich. Das bedeutet, es gab vorrangig kaum Sauerstoff- zehrende Prozesse im Badebeckenwasser. Das Absinken der Redoxspannung in den Sommermonaten 2012 lässt sich dadurch erklären, dass die vermehrt eingebrachten nährstofflichen Belastungen (hoher Badebetrieb) von den Mikroorganismen unter Sauerstoffverbrauch abgebaut wurden. Dies muss sowohl für den Biofilm des Filterkörpers als auch den Nutzungsbereich gesehen werden [8].

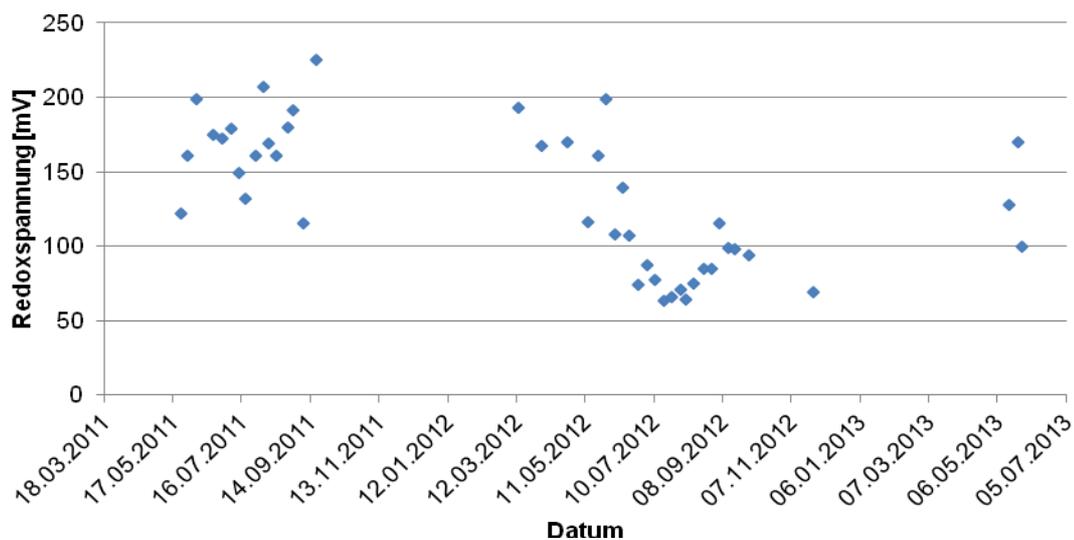


Abb. 7: Redoxspannung des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum

Dem Nährstoff **Phosphor** muss besondere Bedeutung zugeschrieben werden. Er gelangt vor allem durch die Badenden selbst, aber auch durch tierische Ausscheidungen ins Wasser. Bereits sehr kleine Mengen Phosphat reichen aus, um im Schwimm- und Badeteich trotz Stickstoffmangel eine beträchtliche Menge Algen- Biomasse zu produzieren.

Der erlaubte Höchstwert an Phosphor im Badebeckenwasser wurde fast ausnahmslos eingehalten (vgl. Abb. 8). An den meisten Untersuchungstagen lag die P_{ges} -Konzentration unter 0,005 mg/l. Trotzdem wurde im Badewasser immer wieder beginnendes Algenwachstum festgestellt. Besonders nach warmen Tagen bei hohem Badebetrieb und erheblicher Füllwassereinspeisung mussten Algenkolonien aus dem Nutzungsbereich entfernt werden (vgl. Tab. 6, Anhang 02).

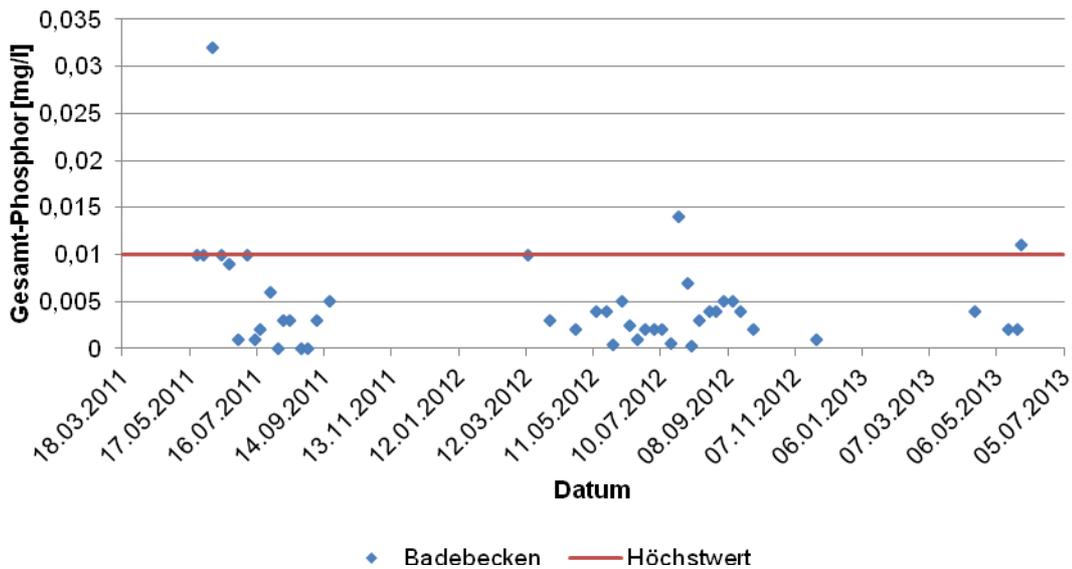


Abb. 8: Gesamt- Phosphor- Gehalt des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchstwert nach FLL- Richtlinie 2011

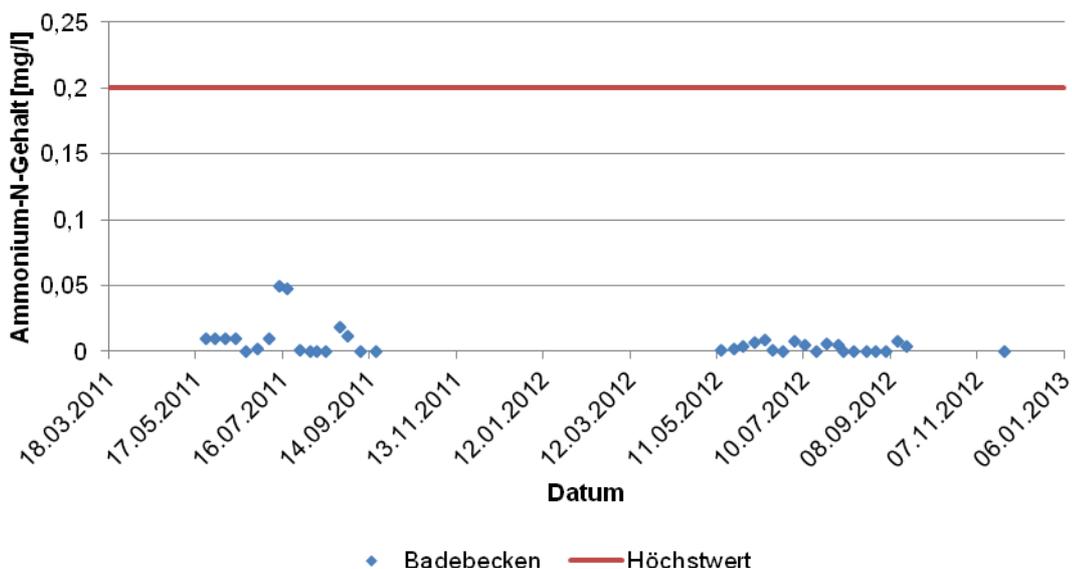


Abb. 9: Ammonium-N- Gehalt des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchstwert nach FLL- Richtlinie 2011

Der Ammonium-N- Gehalt des Badebeckens hielt sich relativ stabil unter 0,01 mg/l. Nur an zwei Beprobungstagen traten Konzentrationen von etwa 0,05 mg/l auf. Der Grenzwert von 0,2 mg/l wurde nicht überschritten, wie in *Abbildung 9* gezeigt wird.

Beim durchweg sehr niedrigen Nitrat-N- Gehalt wurden geringe Schwankungen festgestellt (vgl. *Abb. 10*). Die Nitrat-N- Konzentration bewegte sich 2011 weitestgehend im Bereich zwischen 0,4 und 1,2 mg/l und 2012 größtenteils unter 0,7 mg/l. Der nach FLL- Richtlinie 2011 geforderte Höchstwert wurde an keinem Beprobungstag überschritten.

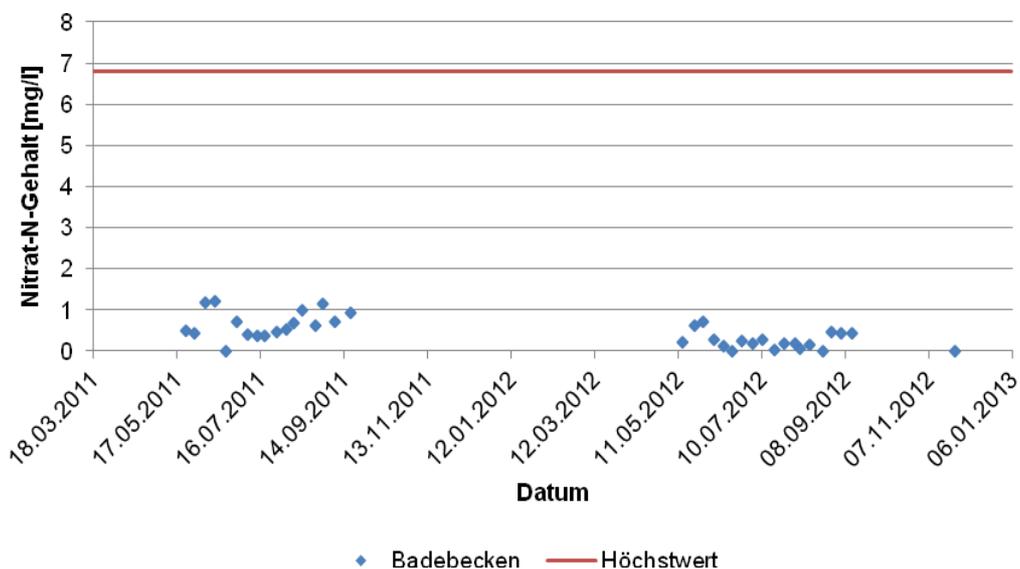


Abb. 10: Nitrat-N- Gehalt des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchstwert nach FLL- Richtlinie 2011

Stickstoff ist ein essentieller Nährstoff und ausschlaggebender „Motor“ des Pflanzenwachstums. Er gelangt hauptsächlich durch menschliche und tierische Ausscheidungen (Urin) in den Schwimmteich [8]. Darüber hinaus ist der Stickstoffeintrag durch das Regenwasser und Füllwasser von Bedeutung. Die vorgegeben Grenzwerte an Ammonium-N und Nitrat-N wurden im Badebeckenwassers weit unterschritten. Die Gefahr eines übermäßigen Phytoplankton- und Cyanobakterien- Wachstums im Zusammenspiel mit Phosphor war nicht gegeben. Es wurde nur ein geringes Algenwachstum im Badebecken festgestellt (vgl. *Tab. 6, Anhang 02*). Vorhandenes Ammonium kann bei der Bodenfilterpassage schnell durch nitrifizierende Bakterien umgewandelt werden [8].

4.1.3 Hygienisch-mikrobiologische Parameter

Die Untersuchung der Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken liefert eine Aussage über die fäkale Belastung eines Badewassers. Die hygienische Beeinträchtigung des Wassers erfolgt hauptsächlich durch den Badenden, der ggf. Krankheitserreger in hohen Konzentrationen ausscheiden kann [8]. Eine Hintergrundbelastung war am Naturbadesee Kirchheim beständig durch Wasservögel gegeben und ließ sich nicht vermeiden.

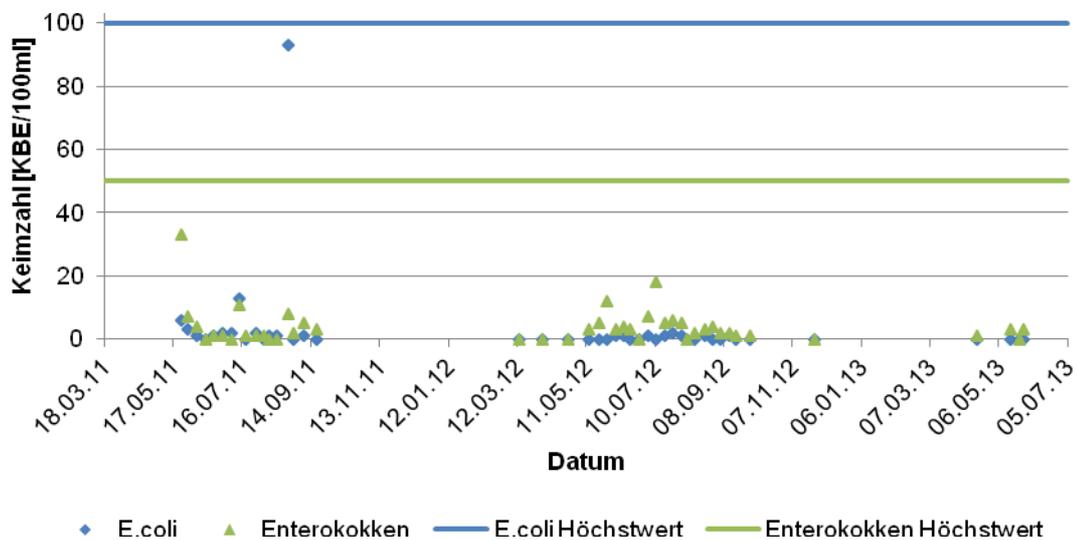


Abb. 11: Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Badebeckenwasser im Beprobungszeitraum mit den dazugehörigen Höchstwerten nach FLL- Richtlinie 2011

Im Untersuchungsjahr 2011 lagen die Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Badewasser sehr oft bei nahezu identischen Werten. Im Jahr 2012 waren die Keimzahlen an Enterokokken gegenüber *E. coli* erhöht. Enterokokken zeichnen sich gegenüber *E.coli* durch längere Überlebenszeiten (Persistenz) aus [31]. Die festgelegten Höchstwerte nach der FLL- Richtlinie aus dem Jahre 2011 im Badebeckenwasser von 100 KBE/100ml an *E. coli* und 50 KBE/100ml an Enterokokken wurden weit unterschritten (vgl. *Abb. 11*). Höchstwertnähe wurde nur an zwei Versuchstagen erreicht.

Pseudomonas aeruginosa trat bei allen Beprobungen 2011, 2012 und 2013 nicht auf und wird daher nicht weiter betrachtet.

Die Bestimmung der Keimzahlen mit den Nährkartonscheiben der Firma „Dr. Möller & Schmelz GmbH“ stellte eine sichere und schnelle Alternative der Keimzahlbestimmung dar. Die Schnellmethode ist eine nach DIN EN ISO 9001:2008 zertifizierte und in der Praxis erprobte Methode zum Nachweis und zur Selektion von Mikroorganismen. Bei Paralleluntersuchungen eines hessischen Labors wurden die Werte nach der Schnellmethode bestätigt.

4.2 Flachwasser und Filter

4.2.1 Physikalische Parameter

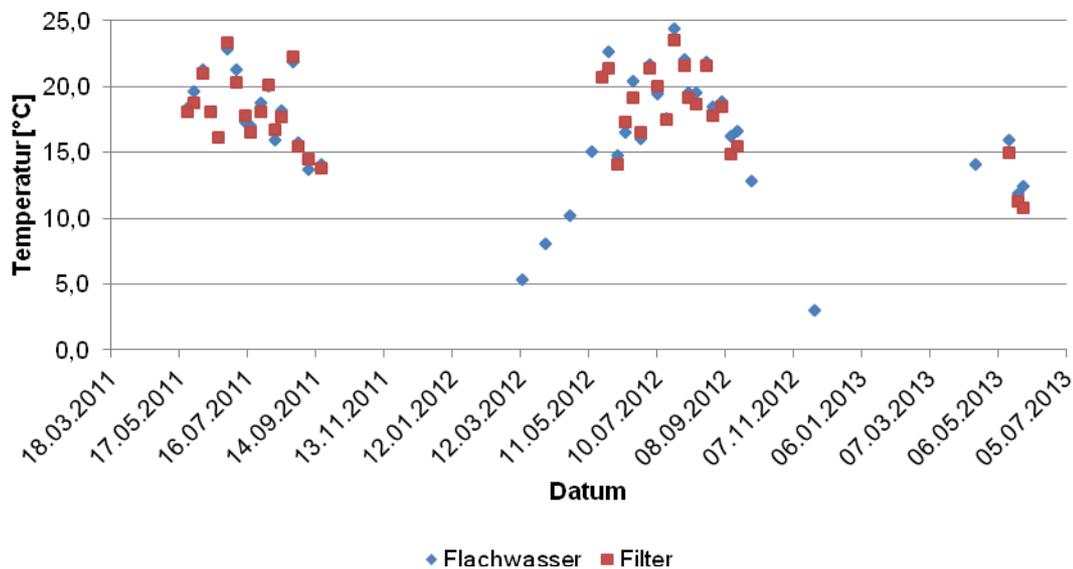


Abb. 12: Wassertemperaturen im Filter- und Flachwasser im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 12* lässt erkennen, dass die **Wassertemperaturen** im Filter und im Flachwasserbereich nahezu identisch waren. Auch hier wurden in den Sommermonaten höhere Temperaturen erfasst als in den übrigen Monaten des Jahres (vgl. *Abb. 4*).

4.2.2 Chemische Parameter

Die **pH- Werte** des Filterwassers und des Flachwassers hielten sich relativ stabil bei etwa pH 8, was der pH- Messwertverlauf in *Abbildung 13* zeigt. Zumeist war der pH- Wert des Flachwassers leicht höher als der des Filterwassers.

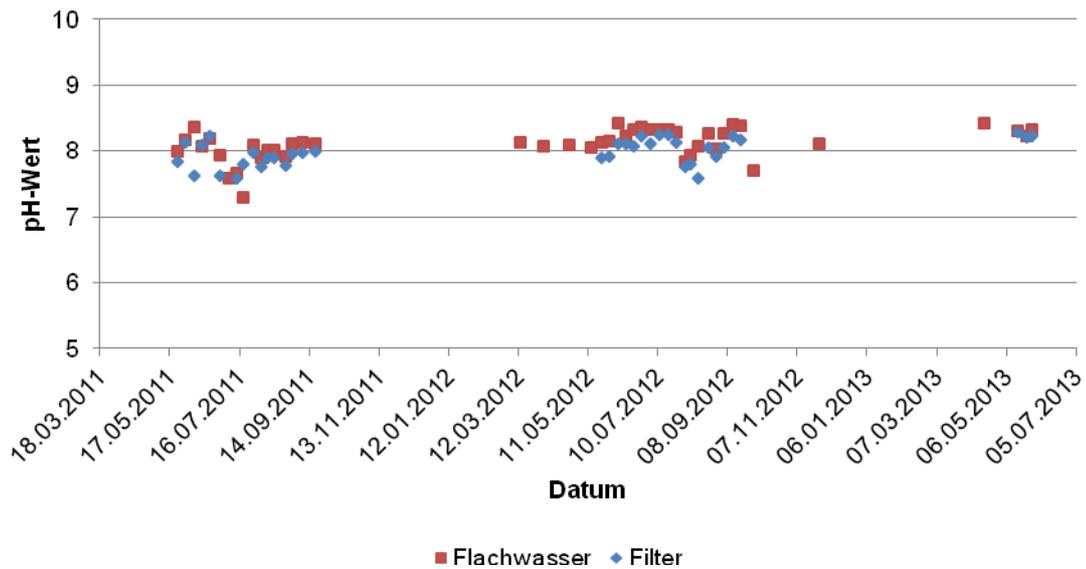


Abb. 13: pH- Werte des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

Die **elektrische Leitfähigkeit** verhielt sich im Flachwasser und im Filterwasser ähnlich wie im Badebeckenwasser (vgl. Abb. 6,14). Im Jahr 2011 stieg die elektrische Leitfähigkeit des Filterwassers und des Flachwasser von Mai bis September (Badesaison) stetig an. Auch im Jahr 2012 verhielten sich die beiden Bereiche bezüglich dieses Parameters gleich. Jedoch lag die elektrische Leitfähigkeit insgesamt niedriger als 2011 und schwankte im Bereich zwischen 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Im Mai und Juni 2013 wurden sehr niedrige Leitfähigkeiten zwischen 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen. Der Einfluss des Füll- und Regenwassers kommt ursächlich darin zum Ausdruck.

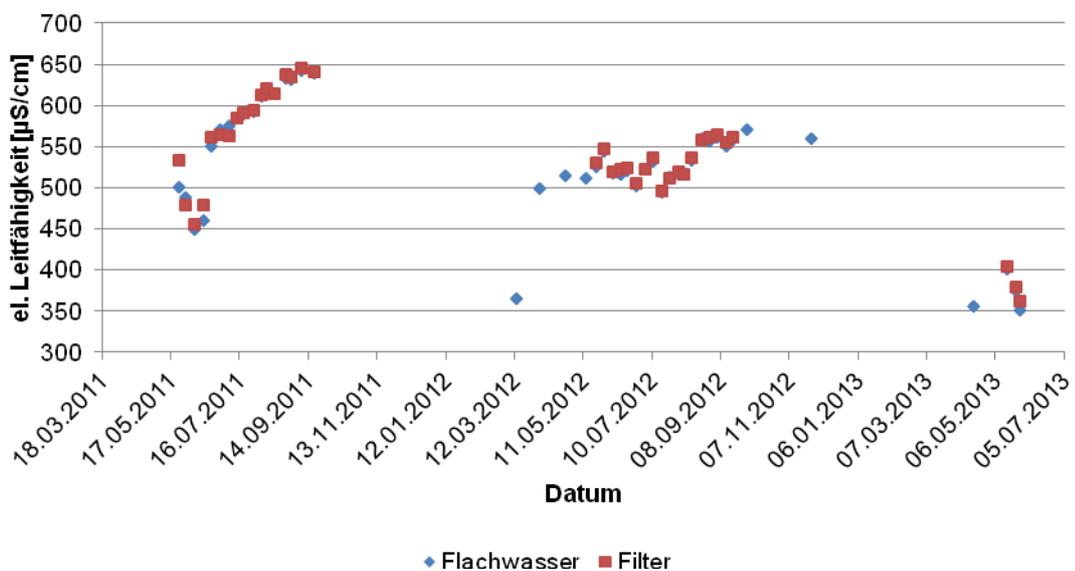


Abb. 14: Elektrische Leitfähigkeit des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 15* zeigt, dass die **Redoxspannung** im Filter- und Flachwasser stark schwankte, jedoch stets positive Werte erfasst wurden. In den Sommermonaten 2012 sank die Redoxspannung im Laufe des Badebetriebes. Die Ursachen können in der erhöhten Nutzung des Schwimmbades und dem dadurch zunehmenden Eintrag von nährstoffseitigen Belastungen liegen.

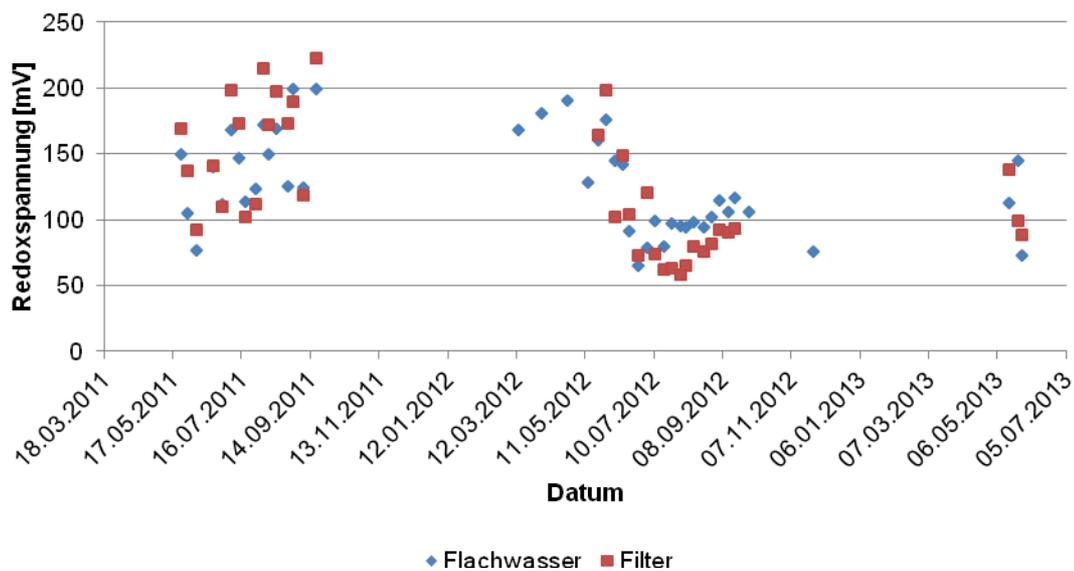


Abb. 15: Redoxspannung des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 16* verdeutlicht, dass vor allem in den Monaten Mai und Juni 2011 im Flach- und Filterwasser **P_{ges} - Konzentrationen** über 0,01 mg/l auftraten. An den restlichen Beprobungstagen 2011, 2012 und 2013 bewegte sich der P_{ges} - Gehalt größtenteils unter 0,01 mg/l. Der Gesamt-Phosphor- Gehalt im Flachwasser war generell höher als im Filterwassers. Durch den Nährstoffabzug aus dem oberflächennahen Wasser des Badebeckens, den „Vogelbesuch“ und die Füllwassereinspeisung ist die Flachwasserzone der stärkste phosphorseitig belastete Teil des Systems.

Am Ende der ersten Saisonhälfte 2011 traten verstärkt Algen in der Flachwasserzone auf, besonders um den Füllstein herum (vgl. *Abb.17* und *Tab. 6, Anhang 02*). Die Algen trugen zur intensiven P- und N- Eliminierung bei.

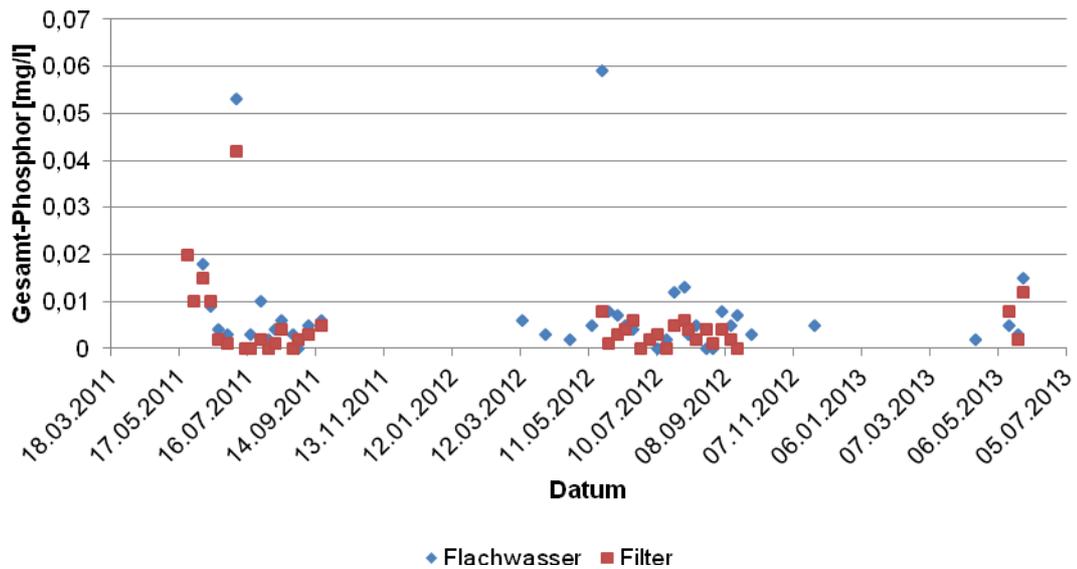


Abb. 16: Gesamt-Phosphor-Gehalt des Filterwasser und des Flachwassers über dem Filter im Beprobungszeitraum

Im Jahresverlauf 2011 und in der Folgezeit konnten sich der Biofilm im Filterkörper sowie die Wasserpflanzen im Regenerationsbereich weiter ausbilden („Einfahrzeit“).



Abb. 17: Algenwachstum in der Flachwasserzone, Juni 2011

In der *Abbildung 18* ist zu erkennen, dass der **Ammonium-N-** Gehalt des Flach- und Filterwassers in der ersten Saisonhälfte 2011 höher war als im restlichen Analysezeitraum. Nach der Einfahrphase war der Ammonium-N- Gehalt in beiden Zonen stabiler. Im ersten Versuchsjahr blieben der Ammonium-N- Gehalt des Flach- und Filterwassers zumeist unter 0,02 mg/l. Im Jahr 2012 wurden niedrigere Werte bis etwa 0,014 mg/l erfasst. Der Ammonium-N- Gehalt des (aufbereiteten) Filterwassers lag unter dem der Flachwasserzone.

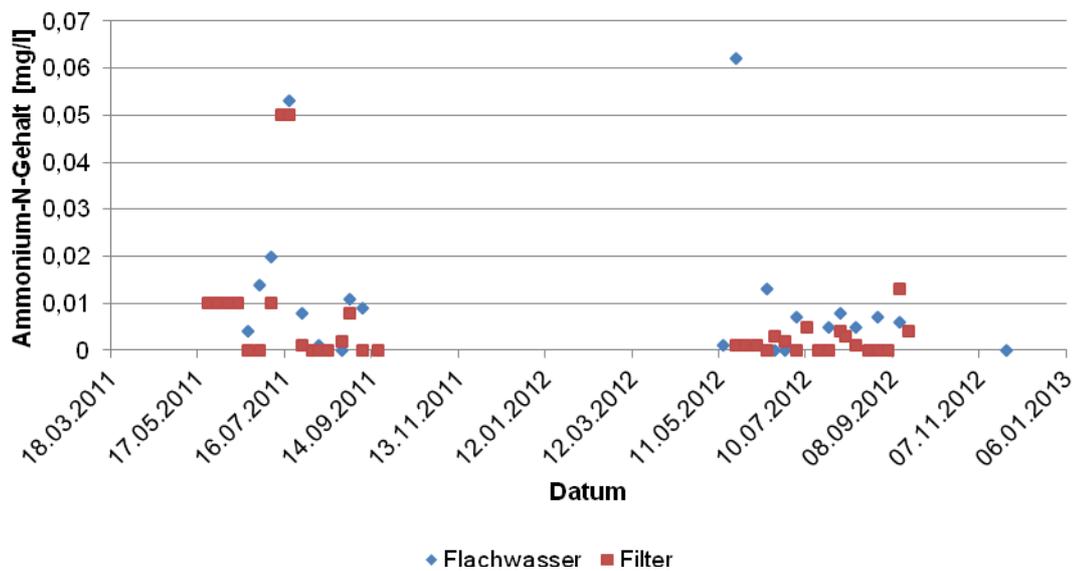


Abb. 18: Ammonium-N-Gehalt des Filterwassers und des Flachwassers über dem Filter im Beprobungszeitraum

Der Verlauf der Messwerte in *Abbildung 19* zeigt, dass die **Nitrat-N-** Konzentrationen 2011 über denen in 2012 lagen. Im ersten Beprobungsjahr wurden Werte unter 1,6 mg/l erfasst. Im zweiten Untersuchungsjaar erreichte der Nitrat-N- Gehalt nur noch Maximalwerte von 0,5- 0,6 mg/l. Durch Nitrifikationsprozesse im Bodenfilter bedingt lag der Nitrat-N- Gehalt des Filterwassers meistens über dem des Flachwassers.

Grundsätzlich kann N über Aufnahme in die Algenbiomasse, Deammonifikations- und Denitrifikationsprozesse eliminiert werden.

Das System Badeteich muss aufgrund der extrem niedrigen Nährstoffkonzentrationen als *oligotroph* (nährstoffarm) bezeichnet werden.

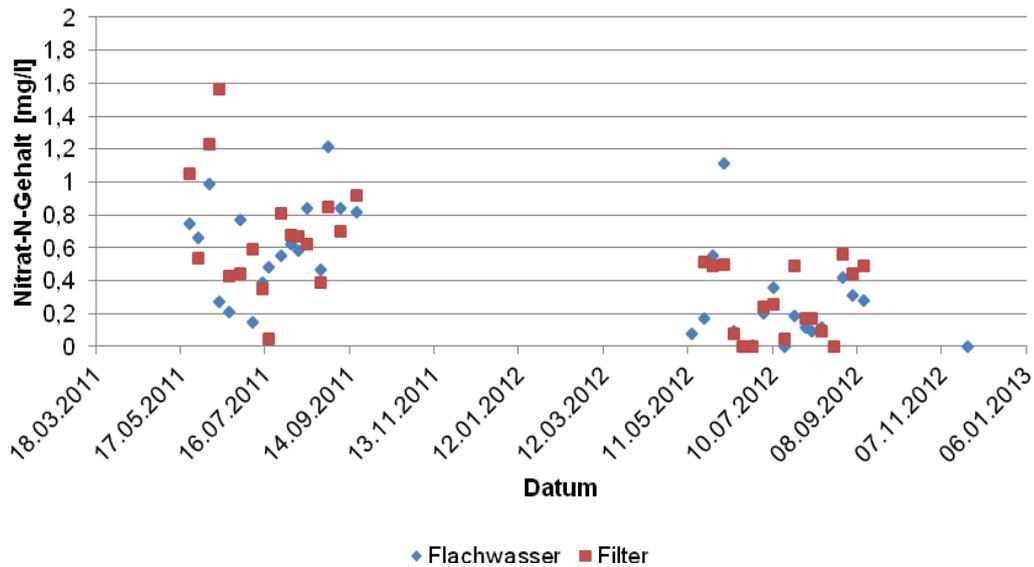


Abb. 19: Nitrat-N- Gehalt des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

4.2.3 Hygienisch-mikrobiologische Parameter

Im Flachwasser oberhalb des Filters lag die Enterokokken- Gehalt meist über der *E.coli*- Konzentration, was sich in der *Abbildung 20* zeigt. Während 2011 zumeist Keimzahlen unter 90 KBE/100 ml erfasst wurden, schwankten sie 2012 unter 50 KBE/100 ml. In den ersten Versuchsmonaten 2013 lagen die Konzentrationen der Indikatorbakterien größtenteils unter 20 KBE/100 ml.

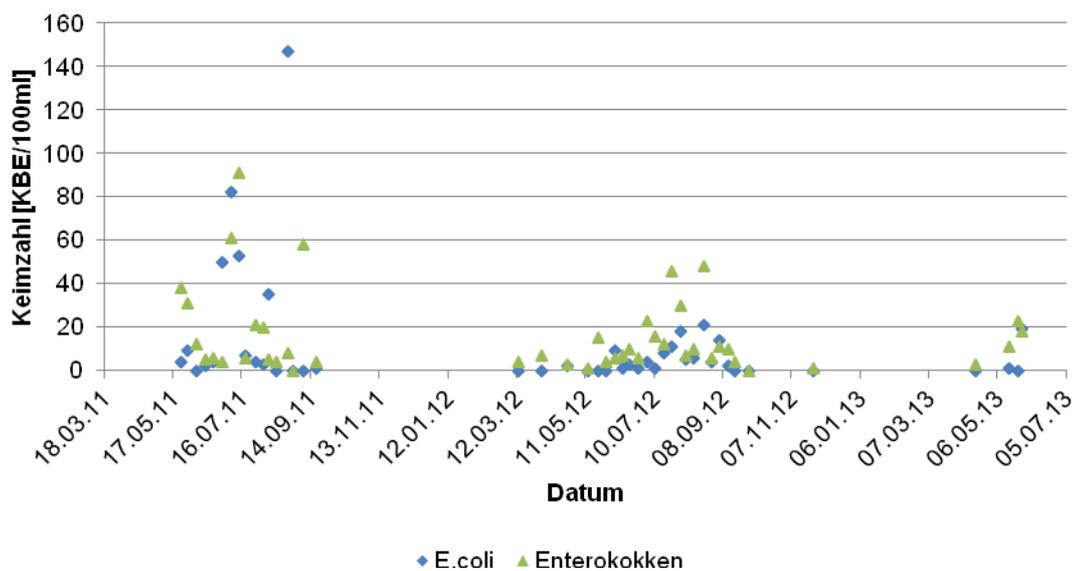


Abb. 20: Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Flachwasser im Beprobungszeitraum

Auch im Filterwasser wurden 2011 höhere Keimzahlen als im darauffolgenden Jahr registriert. Im ersten Jahr schwankten die Werte unter 4 KBE/100 ml, im zweiten Jahr wurden nur Maximalwerte von 2 KBE/100 ml erreicht (vgl. Abb. 21).

Im Filterwasser wurden geringere Zahlen der Indikatorkeime als im Badewasser registriert. Dies spricht für die Qualität der Wasseraufbereitung über die Filterpassage.

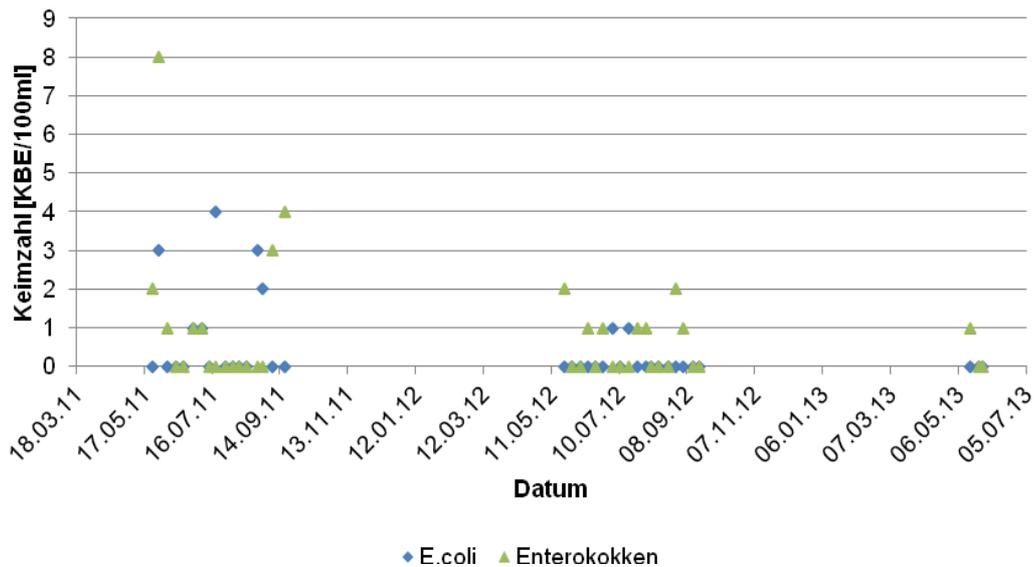


Abb. 21: Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Filterwasser im Beprobungszeitraum

Die Keimzahlen im Flachwasser lagen stetig über denen des Bade- und Filterwassers. Das Wasser vom Badebecken strömt in den Regenerationsbereich und passiert danach vertikal den Filter. Aufgrund der geringeren Wassermenge über dem Filter kam es wahrscheinlich zu einer Aufkonzentrierung an Keimen, bevor diese mit der Filterpassage eliminiert werden konnten. Der Bodenfilter war in der Lage, die Indikatorkeime im Wasser zuverlässig und problemlos zu beseitigen und kontinuierlich auf einem niedrigen Niveau zu halten. Unterstützt wurde dieser Prozess durch solare Einflüsse und die des Zooplanktons.

Der „Problemkeim“ *Pseudomonas aeruginosa* konnte an keinem Beprobungstag nachgewiesen werden. Der Erreger von Mittelohrentzündungen ist normalerweise als opportunistischer Keim auch in natürlichen Systemen ubiquitär vertreten [9]. Damit ist seine Indikatorfunktion nur eingeschränkt zu bewerten.

Keimeliminierung im Filterkörper

Die Eliminationsraten für die Indikatorkeime *E.coli* und Enterokokken wurden bestimmt, um über die Keimreduktion des Filterkörpers eine Aussage zu treffen. Für das Flachwasser (oberhalb des Filter) wurde eine hygienische Belastung von 100 % angenommen, da das „abgebadete“ Wasser aus dem Nutzungsbereich in die Flachwasserzone einströmte und dort zusammen mit der hygienischen Kontamination durch Wasservögel (Hintergrundbelastung) die höchste Konzentration an Keimen erreichte. Die Keimzahlen des Filterwassers und des Flachwassers wurden ins Verhältnis gesetzt. Das Badebeckenwasser war lediglich das Resultat der Einspeisung des Filterwassers in den Nutzungsbereich und wurde hierbei nicht betrachtet. Aufgrund der Aufenthaltszeit des Wassers im System und den unmittelbar aufeinanderfolgenden Probenahmen ist zu berücksichtigen, dass die Proben aus dem Filter zeitlich nicht unmittelbar mit den Proben aus dem Flachwasser korrelierten. Die Aufenthaltszeiten des Wassers im jeweiligen Wasserkörper waren bedingt durch den Pumpenzyklus. Diese interne Verschiebung verlor jedoch aufgrund der untersuchten Probedichte an Wertigkeit.

Tabelle 3: Eliminationsraten von *E.coli* und Enterokokken im Filter

	Eliminationsrate in %	
	<i>E.coli</i>	Enterokokken
Mittelwert	91,40	89,56
Median	100	100

Die Eliminationsraten wurden aus dem Median und Mittelwert der Analysenergebnisse gebildet und in der *Tabelle 3* dargestellt. Sowohl für *E.coli* als auch die Enterokokken bewirkte der Filterkörper durchschnittlich (arithmetisches Mittel) eine Keimeliminierung von einer 10er-Potenz. Der Median blieb unbeeinflusst von „Ausreißern“ und ergab eine Reduktionswirkung von 100 %. Die Ausreißer kamen höchstwahrscheinlich dadurch zustande, dass Vogelkot auf den Schachtdeckeln bei Starkregen abgespült wurde und selbst bei vorsichtigen Probenahmen in den Filterschacht gelangen konnte. Aufgrund dessen ist der Median mit einer Keimreduktion von 100 % als realistischer Wert anzusehen.

Anhand dieser Ergebnisse und der Tatsache, dass die geforderten Höchstwerte für die Indikatorbakterien im Badebeckenwassers stabil eingehalten wurden (vgl. *Abb. 11*), kann dem Filterkörper eine hohe Wirksamkeit bei der Beseitigung der hygienischen Belastungen zuerkannt werden.

4.3 Füllwasser und Regenwasser

Bezüglich des Füll- und Regenwassers wurden nur chemische Analysen durchgeführt.

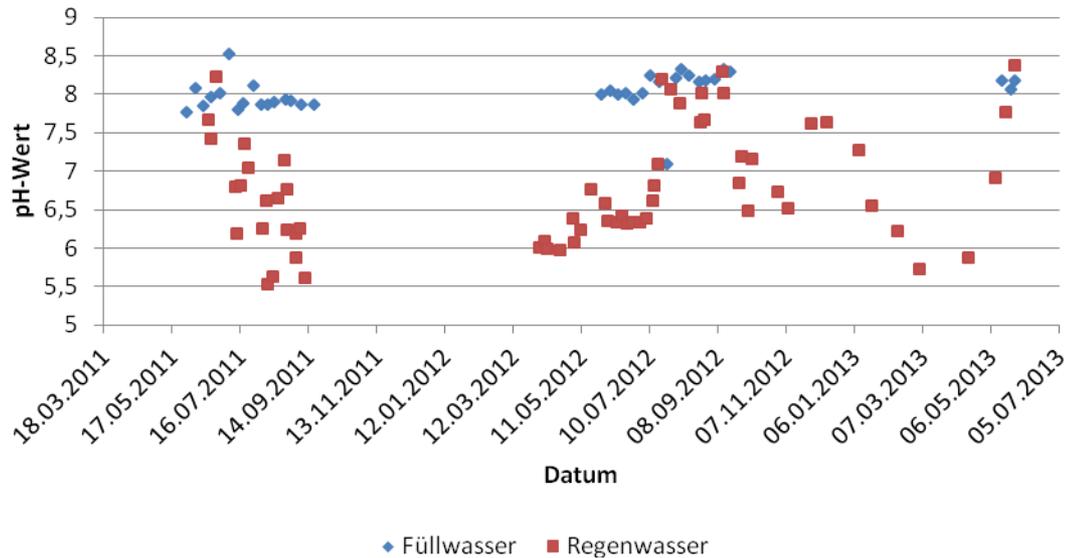


Abb. 22: pH- Werte des Füllwasser und des Regenwassers im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 22* zeigt, dass der **pH- Wert** des Regenwassers im Bereich zwischen 5,5 und 8,4 schwankte. In den niedrigen pH- Bereichen zwischen 5 und 6 könnte der Aspekt des „sauren Regens“ gesehen werden. In den Sommermonaten wurden höhere pH- Werte als in den übrigen Monaten gemessen. Der pH- Wert des Füllwassers lag stabil im Bereich zwischen 7,8 und 8,5 im Jahr 2011 und zwischen 8,0 und 8,3 in 2012.

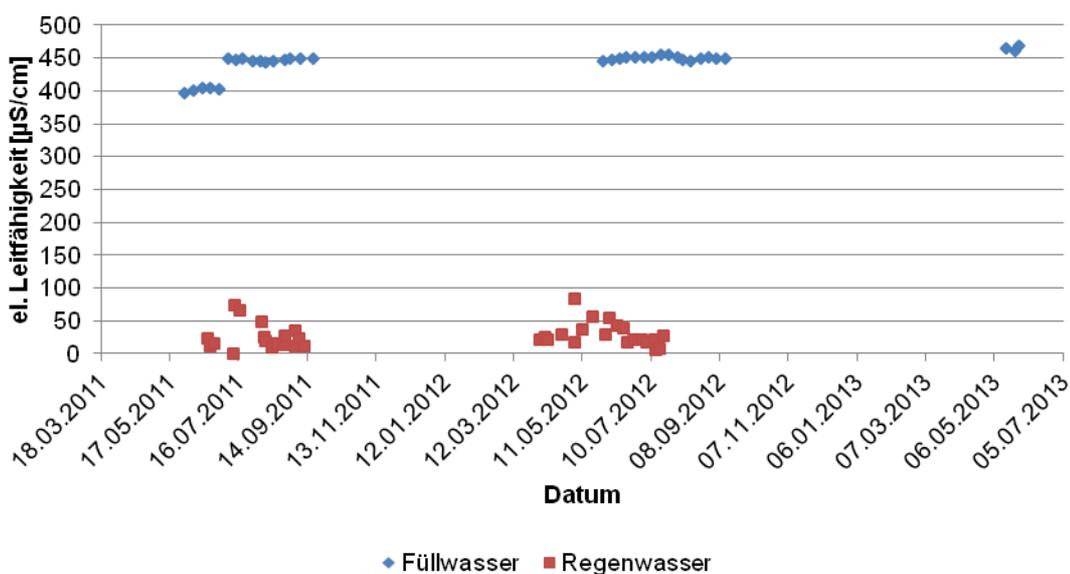


Abb. 23: Elektrische Leitfähigkeit des Füll- und Regenwassers im Beprobungszeitraum

Das Füllwasser war bezüglich der **elektrischen Leitfähigkeit** weitgehend konstant, was im Jahr 2012 mit 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ besonders deutlich wurde (vgl. *Abb. 23*). Der Höchstwert für das Füllwasser von 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ wurde weit unterschritten. Die elektrische Leitfähigkeit des Regenwassers blieb im Untersuchungszeitraum unter 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

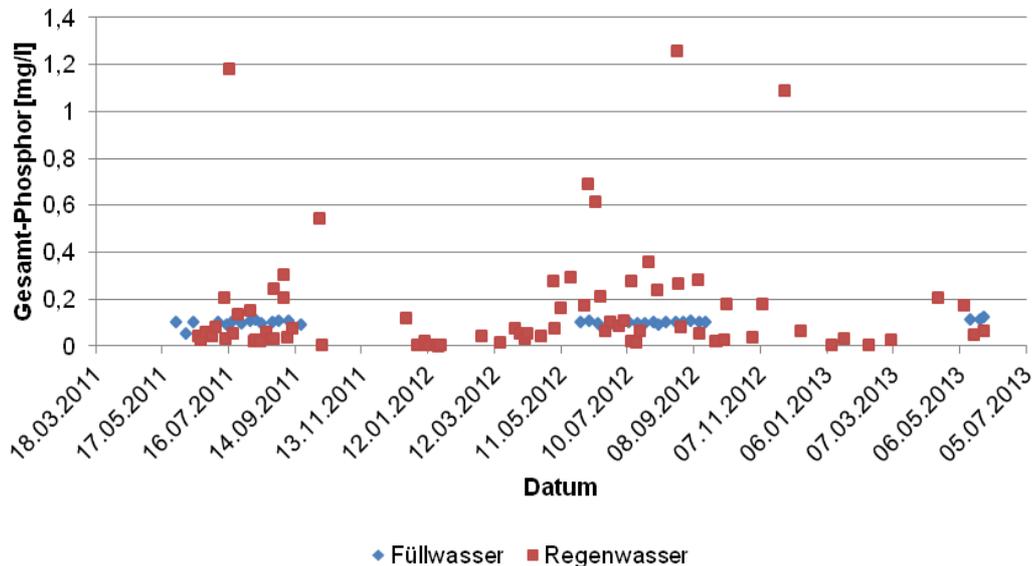


Abb. 24: Gesamt-Phosphor- Gehalt des Füll- und Regenwassers im Beprobungszeitraum

Die **P_{ges}- Konzentration** des Füllwassers lag relativ stabil bei ca. 0,1 mg/l und damit etwa um das 10-fache höher als der Höchstwert, der laut FLL- Richtlinie 2011 im Badebecken einzuhalten war.

Der P_{ges}- Gehalt des Regenwassers schwankte stark und lag in den Sommermonaten vergleichsweise höher als in den restlichen Versuchsmonaten (vgl. *Abb. 24*). Die durchschnittliche Phosphor-Konzentration des Regenwassers lag bei 0,16 mg/l (Median: 0,06 mg/l) und somit 16-mal so hoch wie der festgeschriebene Höchstwert von 0,01 mg/l für das Badewasser. Als Beispiel eines nährstoffreichen Niederschlages gibt *Hoffmann (1972)* einen Phosphorgehalt von 0,995 mg/l an [32]. Durch Niederschläge können größere Mengen Phosphor in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge in das Badewasser eingetragen werden. Das Volumen des Badesees beeinflusst die resultierende Konzentration an P_{ges}. Phosphorhaltige Verbindungen kommen in der Atmosphäre meist als Partikel vor, primär als Blütenstaub (Pollen) und mineralischer Staub [33]. Die Stoffe gelangen mit dem Regen in Oberflächengewässer und können die Eutrophierung stimulieren.

Auch der Wind kann Stäube und organische Materialien wie Blüten im Frühjahr oder Laub im Herbst in das Wasser eintragen. Durch den mikrobiellen Abbau der organischen Stoffe steigt die P- Konzentration des Gewässers [12] .

Die *Abbildung 25* zeigt, dass der **Nitrat-N- und Ammonium-N-** Gehalt des **Regenwassers** im Untersuchungszeitraum unter 2 mg/l schwankte. Der durchschnittliche Nitrat-N- bzw. Ammonium-N- Eintrag in das Badewasser aufgrund von Niederschlägen lag bei 0,66 mg/l (Median: 0,59 mg/l) bzw. 0,541 mg/l (Median: 0,343 mg/l).

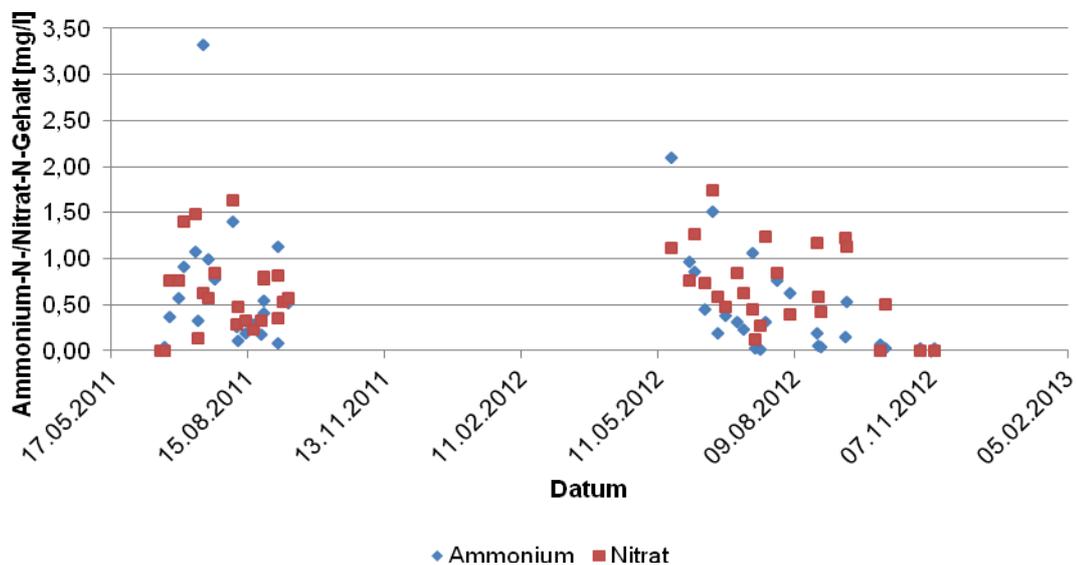


Abb. 25: Ammonium-N- und Nitrat-N- Gehalte des Regenwassers im Beprobungszeitraum

Zusammen mit dem limitierenden Faktor Phosphor können Pflanzennährstoffkonzentrationen und -frachten erreicht werden (vgl. Abschnitt 4.4.2), die eine Algenentwicklung ermöglichen.

Trinkwasser des örtlichen Wasserversorgers diente als **Füllwasser**, das nach der geltenden Trinkwasserverordnung von einem Labor getestet und kontrolliert wurde. Die Ergebnisse der Trinkwasseruntersuchungen (nach Entsäuerung) bestätigten die Ergebnisse für Ammonium- und Nitrat-N (siehe Anhang).

4.4.1 Hydraulische Frachten

Füll- und Regenwassereinträge

Im Folgenden werden die hydraulischen Frachten für Regenwasser und Füllwasser in den Monaten Mai bis September der Jahre 2011 und 2012 betrachtet (vgl. *Abb. 27* und *28*).

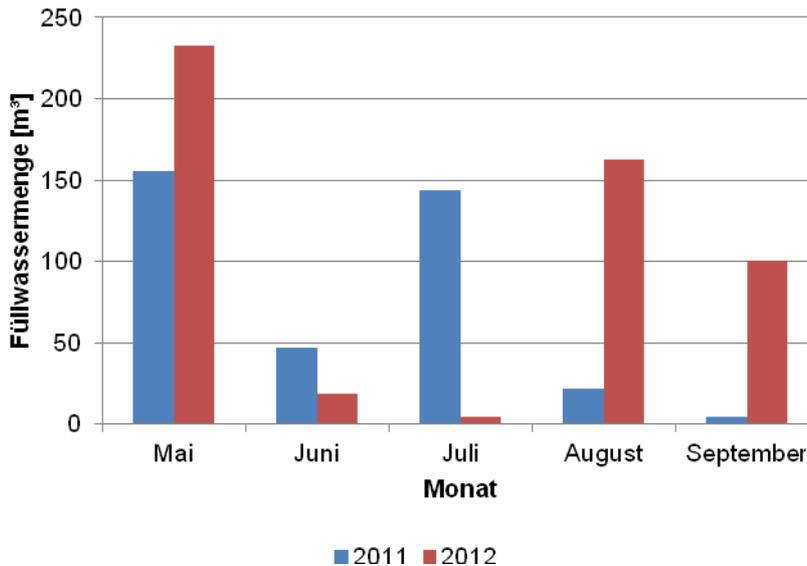


Abb. 27: Füllwasser- Einspeisung in der Badesaison 2011 und 2012

In der Badesaison 2011 und 2012 wurden ca. 373 m³ bzw. 519 m³ Wasser eingespeist. Kurz vor Beginn der Badesaison 2011 und 2012 mussten große Mengen Füllwasser eingefüllt werden, um das festgelegte Wasserniveau zu erreichen (niedriger Wasserstand im Winter: Frostschutz). Die weitere Zugabe von Füllwasser in der Badesaison richtete sich nach dem Verdunstungsverlust und dem Regenwassereintrag. Die Füllwassereinspeisung zeigte, dass an heißen Tagen (kaum Niederschlag), vor allem im Mai 2011 und 2012, Juli 2011, Ende August und Anfang September 2012, teilweise erheblich mehr als 100 m³ Füllwasser nachgefüllt werden musste. Das bestätigen die korrelierenden Niederschlagsmengen in diesem Zeitraum.

In den Monaten Juni und Juli 2012 gab es mit etwa 130-140 l/m² hohe Regenmengen. Im Mai 2011 traten keine Niederschläge auf. Ansonsten lagen die Niederschläge bei 20-40 l/m² pro Monat. Insgesamt gelangten in der Badesaison 2011 ca. 119 m³ Regenwasser in den Naturbadensee. Im Jahr 2012 wurde mit 475 m³ knapp 4-mal so viel Regenwasser eingetragen wie 2011.

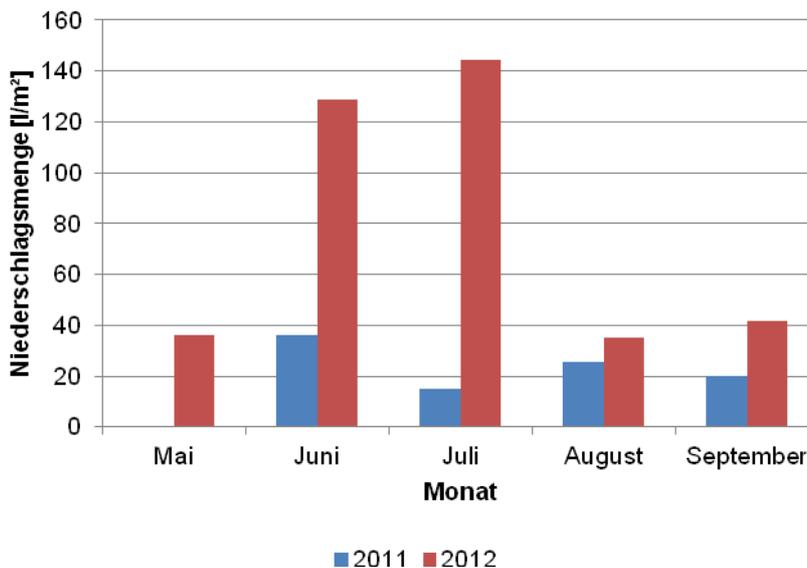


Abb. 28: Niederschlagsmengen der Badesaison 2011 und 2012

Die **hydraulischen Gesamtfrachten** der (Pumpen-)Umwälzung lagen in den ersten beiden Betriebsjahren bei jeweils über 300.000 m³. Den Hauptanteil von über 80% machten dabei die Monate der jeweiligen Badesaison aus (vgl. *Tab. 5*).

Nährstoffkonzentrationen

Phosphor- und Stickstoff-Verbindungen sind sowohl im Regenwasser als auch im Füllwasser enthalten. Die Konzentrationen der Nährstoffe N und P sind als Mittel- und Medianwerte der *Tabelle 4* zu entnehmen.

Tabelle 4: Median und Mittelwert der Ammonium-N-, Nitrat-N- und P_{ges}- Konzentrationen im Füll- und Regenwasser

	Ø Konzentrationen [mg/l]					
	Ammonium-N		Nitrat-N		P _{ges}	
	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Füllwasser	0,004	0,000	3,55	3,71	0,098	0,102
Regenwasser	0,541	0,343	0,66	0,59	0,157	0,064

Bei erhöhter Niederschlagsmenge und Füllwasserzugabe gelangen beträchtliche Frachten an Phosphor und Stickstoff in das System und müssen über den Regenerations- bzw. Aufbereitungsbereich eliminiert werden.

4.4.2 Nährstoffe (Phosphor, Stickstoff)

Bei den Messwerten für P_{ges} - Gehalt, Ammonium-N- und Nitrat-N- Konzentrationen im Regenwasser traten einige „Ausreißer“ auf. Deswegen wurde zur weiteren Betrachtung der in diesem Fall die Realität besser beschreibende Median genutzt. Da es im Füllwasser keine extremen, stark abweichenden Einzelwerte gab, wurde hier der Mittelwert verwendet. Zur Bestimmung der Nährstofffrachten für Regenwasser und Füllwasser wurden die Mittel- bzw. Median-Werte der Ammonium-N- Konzentration und Nitrat-N- Konzentration zu einer resultierenden N- Konzentration zusammengefasst. In den *Abbildungen 29 bis 32* sind die Frachten für N und P in den Jahren 2011 und 2012 gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass die Mengen der Füllwasserzugabe und des Niederschlages mit den Nährstofffrachten an Stickstoff und Phosphor korrelierten.

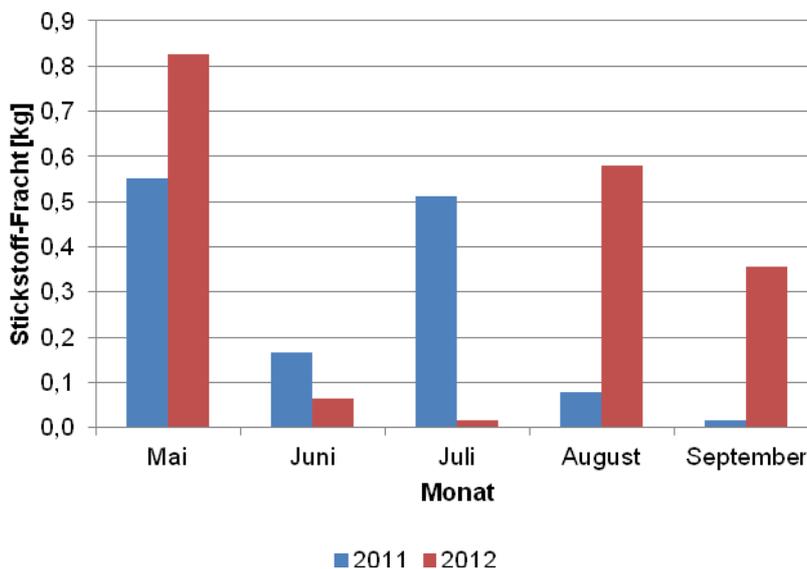


Abb. 29: Stickstoff- Frachten des Füllwassers in der Badesaison 2011 und 2012

In den Jahren 2011 und 2012 gelangten in der Badesaison durch die **Füllwasserzugabe** insgesamt etwa 1,3 kg bzw. 2 kg Stickstoff in das System.

Vor allem im Mai und Juli 2011 sowie im Mai, August und September 2012 wurde ein großer Teil der Stickstoff- Fracht eingetragen. Bedingt durch die hohen Temperaturen im August und September 2012 gelangten knapp 1 kg Stickstoff durch das Füllwasser in den Badeteich. Im September 2011 und im Juni/Juli 2012 waren die Stickstoff- Frachten relativ gering, aufgrund der kühlen Temperaturen und der hohen Niederschlagsmengen (vgl. *Abb. 28*). Das Füllwasser liefert bei großen Einspeisungsmengen einen enormen Beitrag an Stickstoff.

Die Phosphor- Frachten der Badesaison 2011 und 2012 für das Füllwasser lagen insgesamt bei 0,038 kg bzw. 0,057 kg (vgl. *Abb. 30*). In den Monaten Mai/Juli 2011 und Mai/August 2012 waren die P_{ges} - Frachten besonders hoch, da mehr Füllwasser eingespeist wurde. Im August/September 2011 und im Juni/Juli 2012 lagen die Frachten teilweise weit unter 0,005 kg.

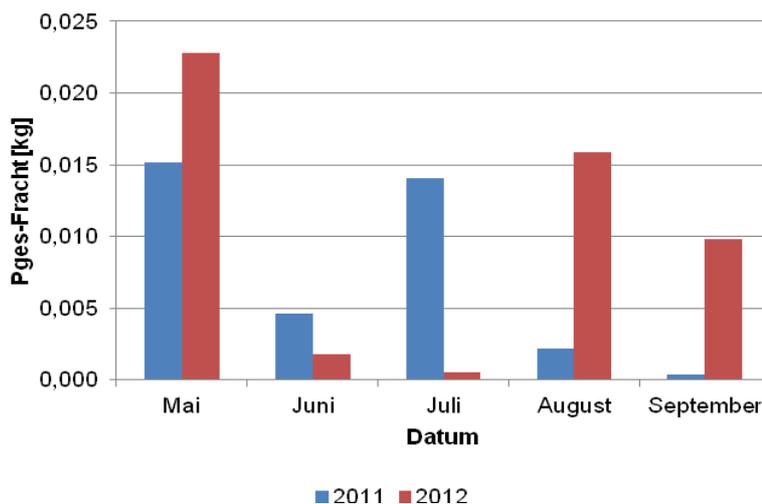


Abb. 30: P_{ges} - Frachten des Füllwassers in der Badesaison 2011 und 2012

Durch die **Niederschläge** in den Monaten Juni und Juli 2012 wurden jeweils mehr als 0,14 kg Stickstoff eingebracht. In den übrigen Monaten lag die N- Fracht bei 0,05 kg oder darunter. Der Stickstoffeintrag durch das Regenwasser ist in der Summe deutlich geringer als durch das Füllwasser (vgl. *Abb. 31*).

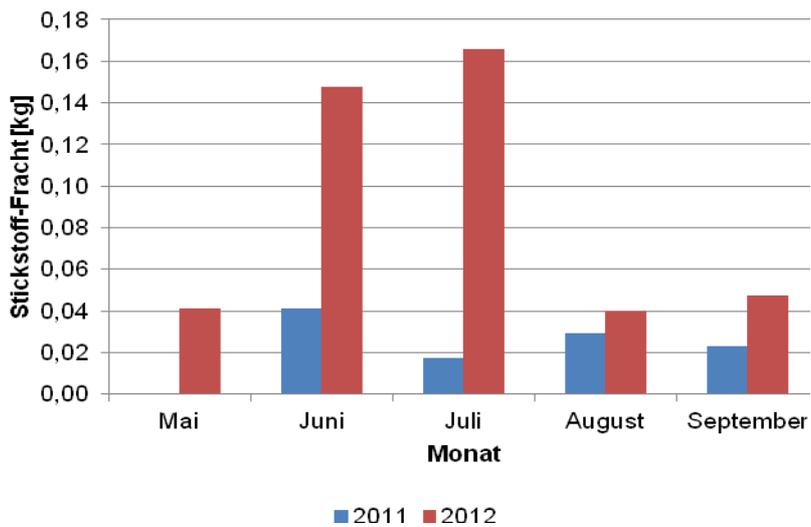


Abb. 31: Stickstoff- Frachten des Regenwassers in der Badesaison 2011 und 2012

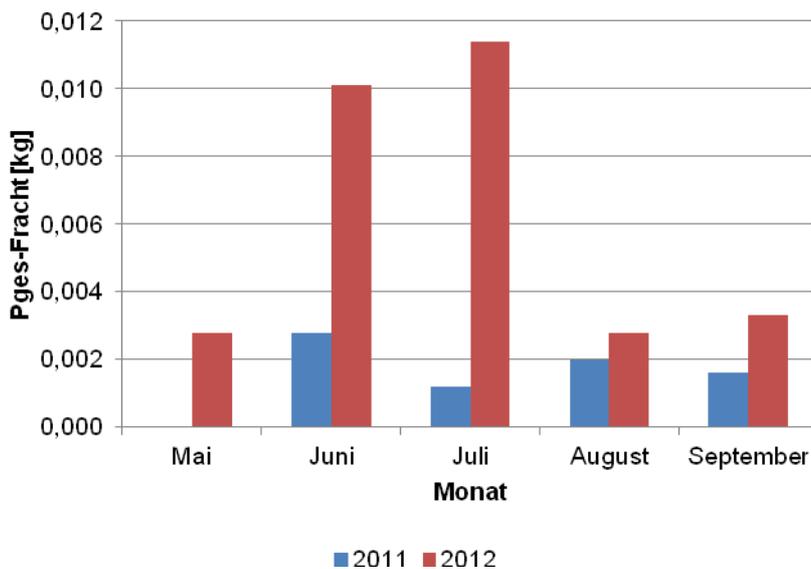


Abb. 32: P_{ges} - Fracht des Regenwassers in der Badesaison 2011 und 2012

Im Juni und Juli 2012 gelangten mit dem Regenwasser jeweils mehr als 10 g Phosphor pro Monat in das Wasser des Naturbadesees (vgl. Abb. 32). Laut *Spieker (2001)* werden pro Hektar und Jahr durchschnittlich 0,3 kg Phosphor aus der Atmosphäre in Gewässer eingebracht [34]. Schon Phosphor- Konzentrationen ab 0,035 mg/l reichen in natürlichen Gewässern zum intensiven Algen- bzw. Cyanobakterienwachstum aus.

Durch 1 mg/l Phosphor können 1 kg Algenbiomasse in einem Gewässer mit einem Volumen von 1000 Liter entstehen [30]. Bei P_{ges} - Konzentrationen über 0,01 mg/l kann intensives Algenwachstum stattfinden.

Die Niederschläge liefern insgesamt, neben dem Eintrag durch die Badenden und der Hintergrundbelastung durch Wasservögel und Kleintiere einen weiteren Nährstoffeintrag in das System. Bei ca. 600 mm Niederschlag pro Jahr und einem medianen P-Gehalt von 0,064 mg/l am „Eisenberg“ bedeuten dies im Mittel etwa 50 g jährlichen Phosphoreintrag in den Badensee.

Der Phosphor- Eintrag durch die Badenden (Zählung) wurde im Rahmen des Forschungsprojektes nicht erfasst, kann aber aus den ermittelten Frachten sowie der über den Filter reduzierten Phosphorfracht abgeschätzt werden.

Tabelle 5: *Hydraulische und Phosphor- Frachten innerhalb der ersten Betriebsjahre sowie der Badesaison 2011 und 2012*

Zeitraum	Mai - Sept. 2011	Mai - Sept. 2012	1. Jahr Mai'11 - Apr.'12	2. Jahr Dez.'11 - Nov.'12
1 hydraulisch [m ³]	253.197	254.044	309.430	302.023
2 Phosphor [kg]	0,759	0,762	0,928	0,906

Die Gesamt-P- Frachten für die ersten beiden Betriebsjahre sowie die jeweilige Badesaison, ermittelt aus den Pumpenlaufzeiten 2011 und 2012, sind in der *Tabelle 5* gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass knapp 1 kg Phosphor über den AufbereitungsfILTER pro Jahr aus dem Badewasser entfernt wurden. Innerhalb der Badesaisons von jeweils Mai – September wurden mit 81,8% bzw. 84,1% die Hauptanteile an Gesamt- P eliminiert.

Der P- Anteil der „geernteten“ Algenbiomasse wurde nicht berücksichtigt. Da es Ende 2012 zu einem technischen Ausfall der Datenerfassungssysteme kam, mussten die (vollen) Betriebsjahre 2011/12 und 2012/13 überlappend betrachtet werden.

4.4.3 „Tonnenversuche“

Innerhalb der Badesaison 2013 wurden am Naturbadesees Kirchheim an drei zeitlich versetzten Versuchstagen insgesamt 34 Badegäste im Rahmen der als „Tonnenversuche“ bezeichneten Untersuchungen auf „ihren“ Keim- und Nährstoffeintrag hin „untersucht“. Dabei ging es um die Fragestellung, welcher konkrete Eintrag von *E. coli* und Phosphor ergibt sich bei einer einmaligen Badewassernutzung. Die Untersuchungen erfolgten in Anlehnung an Erhebungen durch *Scholz et al.* [42]. Hierzu wurden handelsübliche Regenwassertonnen mit einem Volumen von 310 l mit 200 l Badewasser gefüllt, dessen Keim- und P- Gehalt vor der jeweiligen Nutzung bestimmt wurde (Probenahme). Die Personen (maximal 2 – 3 nacheinander) stiegen für ein Zeitminimum von mindestens 2 Minuten (bis maximal 15 Minuten) in die Tonne, um dort möglichst viel Wasser zu bewegen, unterzutauchen und damit ein „Schwimmen“ zu simulieren.

Die teilnehmenden Personen sollten (ausschließlich) ungeduscht an dem Experiment mitwirken. Unter den freiwilligen Versuchsteilnehmern waren 7 Kinder bis zu einem Alter von 10 Jahren, 10 Kinder und Jugendliche von 11 bis 17 Jahren, 12 Erwachsene ab 18 Jahre (bis 50 Jahre) und 5 Erwachsene älter 50 Jahre. An den Versuchen beteiligten sich 29 männliche und (lediglich) 5 weibliche „freiwillige“ Probanden. Pro „Badegast“ ergab sich ein Eintrag von durchschnittlich 150.000 KBE *E. coli* und 6,5 mg Phosphor. Bei *E. coli* schwankten die Zahlen von 0 bis 900.000 KBE. Die P- Gehalte lagen zwischen 0,2 und 70,5 mg.

In den Untersuchungen wurde deutlich, dass der Eintrag von Fäkalbakterien und Phosphor durch Badegäste die Wasserqualität entscheidend beeinflussen kann. Mit der ungeduschten Variante wurde bewusst auf den „almost worst case“ abgestellt, da das 100%-ige Duschen vor Nutzung der Bäder niemals sichergestellt werden kann. Der „worst case“ wäre ein Urinieren beim Baden und ist in Einzelfällen ebenfalls immer gegeben. Bei den hier vorgestellten „Tonnenversuchen“ war dies nicht der Fall. In knapp 80% der Proben war der nach FLL- Richtlinie geforderte Höchstwert unterschritten. *E. coli* ist im Badewasser für eine gewisse Zeit überlebensfähig [41]. Andererseits findet durch das Bakterio- und Zooplankton eine erhebliche Reduzierung der Keimgehalte in Naturbädern statt [13]. Ein Abduschen ist dennoch aus Sicht des vorausschauenden Schutzes der Badegäste notwendig. *Schulz* [43] hat in einer Freilandstudie einen mittleren P- Eintrag pro Badegast und –tag von 94 mg ermittelt. Unter der Berücksichtigung des Urinierens einzelner Badegäste kann dieser Wert gegenüber den hier dargestellten 6,5 mg durchaus realistisch sein. Die von *Scholz et al.* [42] ermittelten 0,19 mg Phosphor pro Badegast erscheinen zu niedrig, wohingegen die Keimzahlen von 120.000 *E. coli* die im Forschungsprojekt gefundenen 150.000 KBE stützen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Naturnahe Schwimm- und Badeteiche sind künstlich angelegte Freibäder mit einer biologischen Wasseraufbereitung. Durch den Verzicht auf Desinfektionsmittel stellt ein Naturbadesee eine umweltbewusste und interessante Erholungs- und Sportmöglichkeit dar. Die eingebrachten nährstoffseitigen und hygienischen Belastungen müssen zuverlässig eliminiert werden, um eine Gesundheitsgefährdung des Badenden auszuschließen. Dem Filterkörper kommt damit eine elementare Bedeutung zu.

Ausgehend von der Zielstellung, die Hygieneparameter und Nährstoffeinträge in einem Naturbadesees zu untersuchen, wurden die überwachten physikalischen, chemischen und hygienisch-mikrobiologischen Parameter im Rahmen dieser Arbeit dargestellt und bewertet. Wichtig war bei der Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse die Einhaltung der geforderten Höchstwerte nach der FLL-Richtlinie 2011. Besonderes Augenmerk wurde auf den Eintrag und die Eliminierung des Nährstoffes Phosphor gelegt. Bereits bei geringen Höchstwertüberschreitungen können Algen und Cyanobakterien einen enormen Wachstumsschub erfahren. Phosphor wird größtenteils über Badegäste, Wasservögel und Kleintiere in das Badewasser eingetragen. Erstmals wurde mit dieser Arbeit der Nährstoffeintrag (P/N) des Niederschlages und des Füllwassers im Zusammenhang mit Naturbädern näher untersucht.

Die Einhaltung der Anforderungen an die Hygieneparameter war der entscheidende gesundheitlich relevante Aspekt zur Bewertung des Badesees Kirchheim. Hierfür wurde die Leistung der Keimeliminierung des Filterkörpers untersucht und ausgewertet. Es ist zu beachten, dass auch der UV- Anteil des Sonnenlichts einen Beitrag zur Entkeimung des Wassers leistet [14]. Zu welchen Anteilen die Keimeliminierung durch das UV-Licht und durch den Filterkörper erreicht wird, wurde noch nicht näher untersucht.

Die Anlage wies bezüglich der nährstofflichen und hygienischen Belastungen eine hohe Betriebsstabilität und Sicherheit auf. Die geforderten Höchstwerte der Nährstoffe Phosphor, Nitrat-N und Ammonium-N sowie der Indikatorbakterien *E.coli* und *Enterokokken* wurden nahezu ausnahmslos eingehalten. *Pseudomonas aeruginosa* trat nicht auf. Insbesondere im zweiten Jahr (2012) konnte eine hohe Stabilität der relevanten Parameter erreicht werden.

Nach der Inbetriebnahme der Anlage 2011 brauchten der Biofilm des Filterkörpers und die Wasserpflanzen einige Zeit um sich etablieren zu können (Einfahrphase). Im oligotrophen System Badeteich bauen sich Biofilme langsamer auf und bestehen zu großen Anteilen aus autotrophen Bakterien [31].

Durch weitere Untersuchungen im Jahr 2013 ließ sich die Tendenz absichern, dass die Effizienz und Reinigungsleistung des Filterkörpers stabil ist.

Mit dem jährlichen Füll- und Niederschlagswasser können Phosphorfrachten von bis zu 50 g in den Schwimmteich eingetragen werden. In den zwei niederschlagsreichen Monaten Juni und Juli 2012 gelangten jeweils über 10 g Gesamt-Phosphor in den Badesee. Desweiteren ist ein Phosphor-Eintrag durch die Luft (Windbewegung) immer gegeben. Dieser Aspekt wurde aber in der Arbeit nicht weiter betrachtet.

Die Kalkulationen zu den Gesamtphosphor- Frachten zeigten, dass knapp 1 kg Phosphor über den Aufbereitungsfilter pro Jahr aus dem Badewasser entfernt wurden. Die hydraulischen Gesamtfrachten lagen in den ersten Betriebsjahren bei jeweils über 300.000 m³. Den Hauptanteil von über 80% machten die Monate Mai bis September der jeweiligen Badesaison aus.

Die Probenahme außerhalb der Badesaison bzw. bei ungünstigen Wetterbedingungen (z.B. kühle Temperaturen) bestätigte eine nahezu immer gegebene Hintergrundbelastung. Die Hintergrundbelastungen durch den Regen- und Lufteintrag sowie die hygienischen und nährstoffseitigen Einträge durch den „Tierbesuch“ können nicht vermieden werden. Bei der Bestimmung der Hygieneparameter wird nicht auf die „tierische“ oder „menschliche“ Herkunft der Keime differenziert.

In den „Tonnenversuchen“ ergaben sich bei einmaliger Badewassernutzung Einträge von durchschnittlich 6,5 mg Phosphor und $1,5 \times 10^5$ KBE *E. coli* pro Badegast.

Freibäder mit biologischer Wasseraufbereitung können eine sichere Alternative zu den konventionellen, mit Chlor desinfizierten Bädern sein. Immerhin leiten sich von der Chlorung auch unterschiedliche Nebenwirkungen ab [35].

Literaturverzeichnis

- [1]. **Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL).** *Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm- und Badeteiche).* Bonn : Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), 2011.
- [2]. **Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau.** *Fachwissenschaftliche Begleitung des Modellprojektes "Umbau von konventionellen Freibädern in ein Naturbad" in Schöllkrippen, Stamsried und Nordhalben.* [PDF] Veitshöchheim : s.n., 2008.
- [3]. **Bundesministerium der Justiz.** www.gesetze-im-internet.de. [Online] [Zitat vom: 30. 5 2013.]
- [4]. **Hoffmann, Sabine.** Die gesetzliche Situation zur Wasserqualität in Schwimmteichen. *Stadt + Grün - Das Gartenamt.* 2003, 09.
- [5]. **Umweltbundesamt.** *Hygienische Anforderungen an Kleinbadeteiche (künstliche Schwimm- und Badeteichanlagen).* [PDF] 2003.
- [6]. **Schulz, Liselotte.** Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste. s.l. : Zentralblatt der Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene, 1981. Bd. 173.
- [7]. **Umweltbundesamt.** *Hygieneanforderungen an Bäder und deren Überwachung.* [PDF] 9. 2006.
- [8]. **Baumhauer, Jörg und Schmidt, Carsten.** *Schwimmteichbau.* s.l. : Patzer-Verlag, Berlin-Hannover, 2008.
- [9]. **Kulle, Peter.** Pathogene Keime und Infektionsrisiko. *Der Schwimmteich.* 2005, 1.
- [10]. **Kulle, Peter.** Pseudomonas aeruginosa - der Problemkeim. *Der Schwimmteich.* 2005, 3.
- [11]. **Nowicki, Stefan.** Algenplagen - Ursachen, Bekämpfung und Vermeidung. *Der Schwimmteich.* 2004, 3.
- [12]. **Schäfer, Robert.** Phosphordynamik in naturnahen Schwimm- und Badeteichen. Weimar : s.n., 2005.
- [13]. **Eydeler, Inga; Spieker, Jürgen; KLS Gewässerschutz Hamburg.** *Keimelimination durch Zooplankton.* [PDF] Hamburg : s.n., 2010.
- [14]. **Mahabadi, Mehdi und Rohlfing, Ines Maria.** *Schwimm- und Badeteichanlagen - Planungs- und Baugrundsätze.* s.l. : Verlag Eugen Ulmer, 2008.

- [15]. **Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL)**. *Empfehlungen für Planung, Bau, Pflege und Betrieb von Pflanzenkläranlagen (naturnahe Klärverfahren mit Pflanzenbewuchs)*. Bonn : Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), 2007.
- [16]. **Rump, Hans Hermann und Krist, Helmut**. *Laborhandbuch für die Untersuchung von Wasser, Abwasser und Boden*. s.l. : VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1992.
- [17]. **DIN 38404 (Teil 4)**. *Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen - Bestimmung der Temperatur*. 1976.
- [18]. **Kulle, Peter**. *Untersuchungstagebuch Naturbadeseesee Kirchheim 2011-2013*.
- [19]. **Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH (WTW)**. *Messtechnik für Labor & Umwelt*. [PDF] 2012.
- [20]. **DIN 19261**. *pH-Messung - Messverfahren mit Verwendung potentiometrischer Zellen - Begriffe*. 2005.
- [21]. **DIN EN 27888**. *Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit*. 1993.
- [22]. **Wissenschaftlich- Technische Werkstätten GmbH (WTW)**. *Bedienungsanleitung Portables Leitfähigkeits-Messgerät Cond 197i*. 2005.
- [23]. **Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH (WTW)**. *Leitfähigkeitsmessung - Konduktometer - Die elektrische Leitfähigkeit*. [PDF]
- [24]. **Quentin, Karl-Ernst**. *Trinkwasser - Untersuchung und Beurteilung von Trink- und Schwimmbadwasser*. s.l. : Springer-Verlag, 1988.
- [25]. **MFPA Arbeitsanweisung QM 33 V 029**. *Bestimmung von Phosphor (photometrisch)*. Weimar : s.n., 1995.
- [26]. **DIN 38406 (Teil 5)**. *Kationen - Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs*. 1983.
- [27]. **MFPA Arbeitsanweisung QM 33 V 024**. *Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs*. 1995.
- [28]. **Dr. Möller & Schmelz GmbH**. *Gebrauchsanweisung - Nährkartonscheiben*. Göttingen : s.n., 2011.
- [29]. **Flohre, Sebastian und Brunkhorst, Mario**. *Rechnergestützte Simulation einer Badesaison in Naturfreibädern*. *Stadt + Grün - Das Gartenamt*. 2004, 09.
- [30]. **Habeck, Doris**. *Sommerzeit ist Algenzeit - das muss nicht sein !*. *Schwimmteich & Naturpool*. 2012, 03.
- [31]. **Kulle, Peter**. *(Eigene Erfahrungen aus verschiedenen Projekten)*.
- [32]. **Hoffmann, J**. *Ursachen und Folgen der Eutrophierung von Gewässern*. Gießen : Ergebnisse landwirtschaftlicher Forschung an der Justus-Liebig-Universität, 1972.

- [33]. **Nehring, D. und Wilde, A.** Untersuchungen über den atmosphärischen Nährstoffeintrag in die Ostsee. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*. 1982, 10.
- [34]. **Spieker, Jürgen.** Ökologische Grundlagen stehender Badegewässer. *Archiv des Badewesens*. 2001, 3.
- [35]. **Kim, H., Shim, J. und Lee, S.** Formation of disinfection by-products in chlorinated swimming pool water. *Chemosphere*. 2002, 46.
- [36]. **Reemtsma, Thorsten und Jekel, Martin.** *Organic Pollutants in the Water Cycle*. Weinheim : WILEY-VCH Verlag, 2006.
- [37]. **Polyplan GmbH Ingenieurbüro für Energie- und Umwelttechnik.** Ilse-ter Meer Weg 7, 30449 Hannover : s.n., 2013.
- [38]. **Zeller GmbH.** *Bedienungsanleitung - Taschengerät Oxi 315i*. [PDF] Hohenems Oberklien : s.n., 2004.
- [39]. **DIN EN ISO 5814.** *Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des gelösten Sauerstoffs - Elektrochemisches Verfahren* . 2013.
- [40]. **Kulle, Peter.** ... und alles Wasser im Strom wurde in Blut verwandelt! *Der Schwimmteich*. 2005, 2.
- [41]. **Heinemeyer, E. August.** Vom Kleinbadeteich bis zur Nordsee. Internat. Kongress für naturnahe Badegewässer, 19. – 21.09.2001, Geisenheim
- [42]. **Scholz, I., K. Grüne, U. Brüdern, H. Frehse, S. Bruns, J. Spieker, S. Kunst.** Bestimmung des Nährstoff- und Keimeintrags durch Badegäste in kommunalen Schwimm- und Badeteichanlagen (*unveröffentlicht*).
- [43]. **Schulz, L.** Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste. *Zbl. Bakt. Hyg. I Abt. Orig. B* 173, S. 528 – 548, 1981.

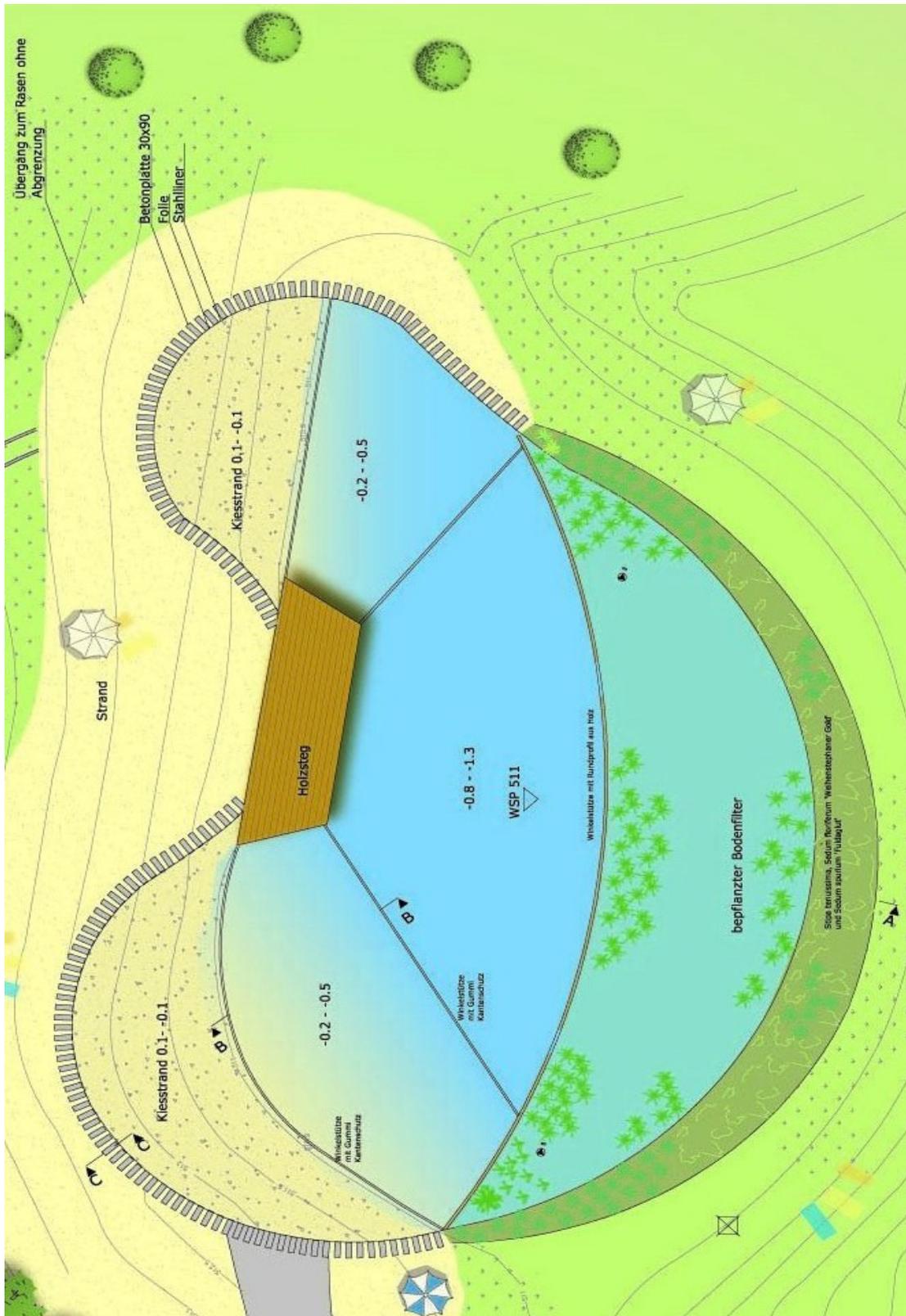
Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Aqua dest.	destilliertes Wasser
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
ca.	circa
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DIN	Deutsche Industrie-Norm
el. Leitfähigkeit	elektrische Leitfähigkeit
EN	Europäische Norm
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Land- schaftsbau
ggf.	gegebenenfalls
IfSG	Infektionsschutzgesetz
ISO	International Standardizing Organization
KBE	Koloniebildende Einheit
N	Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium-Ion
NH ₄ OH	Ammoniumhydroxid
NN	Normalnull
P	Phosphor
P _{ges}	Gesamt- Phosphor
P. aeruginosa	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>

Tab.	Tabelle
Trinkwv.	Trinkwasserverordnung
UV	Ultraviolett
v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VIS	Visible
WTW	Wissenschaftlich Technische Werkstätten
z. B.	zum Beispiel

Anhang

Anhang 01: Entwurfsplan des Badesees [37]



Anhang 02:

Tabelle 6: *Besondere Ereignisse und Auffälligkeiten am Badensee im Beprobungszeitraum*

Datum	Ereignis
09.06.11	Algen in der Flachwasserzone, Vogelkot auf Schachtdeckeln, Beobachtung von Bachstelze
29.06.11	erste kompakte Grünalgen-Kolonien in der Flachwasserzone
07.07.11	grüne Algenkolonien in der Flachwasserzone, Vogelkot auf Schachtdeckeln
14.07.11	viele Algenkolonien in der Flachwasserzone, Pfützen auf 2 von 3 Schachtdeckeln
15.08.11	mehrere kleine Algenkolonien auf dem Grund des Badebeckens
20.08.11	Algenkolonien aus Flachwasserzone und Badebecken heraus gesammelt
14.05.12	Grünalgen in Flachwasserzone
23.05.12	starke Algenbildung in der Flachwasserzone, auf der Wasseroberfläche des Flachwassers : Pollen/Samen/Insekten, Wildenten gesichtet
29.05.12	wenige Algen aus dem Badeteich entfernt
13.06.12	abgesunkene Algenkolonien im Flachwasser, einige wenige junge Kolonien auf der Oberfläche
26.06.12	Algenwachstum im Badebecken (kleine „Nester“)
04.07.12	in Flachwasserzone starke Algenbildung und –vermehrung
11.07.12	Entfernung von viel Algenmaterial aus der Flachwasserzone
19.07.12	starkes Algenwachstum in der Flachwasserzone
26.07.12	Probenahme während intensiver Badennutzung, massive Algenentwicklung in der Flachwasserzone, sehr warm
03.08.12	Grünalgenentfernung aus dem Badebeckenwasser und dem Flachwasser
07.08.12	Algen in Flachwasserzone (teilweise abgesunken)

14.08.12	starke Algenentwicklung in der Flachwasserzone, Einspeisung von viel Füllwasser, warme Tage, kein Regen
23.08.12	Zuckmückenlarven in der Flachwasserzone, intensiver Vogelbesuch, Vogelkot auf Schachtdeckeln
29.08.12	auffällig starker Rückgang der Algen, starker Rückgang der Zuckmückenlarven
05.09.12	starker Rückgang der Algen, intensiver Vogelbesuch
13.09.12	nach Regen neuer Algen- Wachstumsschub (zahlreiche neue Algenkolonien)
19.09.12	starke Algenentwicklung um den Füllstein in der Flachwasserzone und erste sichtbare junge Kolonien an der Wasseroberfläche des badebeckens
01.10.12	starke Algenentwicklung im Flachwasser (vor allem um den Füllstein)
26.10.12	Algen waren besonders um den Füllstein und die Probeentnahmeschächte vertreten und dort mit Wasserpflanzen vergesellschaftet
17.04.13	Algenvorkommen vor allem in der Flachwasserzone, einzelne Kolonien im Badebecken (auf dem Grund/Sediment)
16.05.13	Pollenflug (Pollen auf der Wasseroberfläche der Flachwasserzone), beginnend stärker Algenentwicklung im Flachwasser
28.05.13	einige größere Kolonien im Badebecken (seit Saisonbeginn etwas gewachsen; Ernte notwendig), in der Flachwasserzone stärkere Algenentwicklung
03.06.13	starke Algenentwicklung in der Flachwasserzone
13.06.13	durch Erwärmung wieder stärkeres Wachstum von Algen im Badebecken, starke Algenentwicklung in der Flachwasserzone
20.06.13	intensive Algenernte
28.06.13	nach Ernte waren Algen im Badebecken sehr gut beräumt

Anhang 03: *Umrechnung der geforderten Höchstwerte für Ammonium und Nitrat in Ammonium- N und Nitrat- N*

geforderte Höchstwerte:

<u>Badebecken:</u>	Ammonium (NH ₄ ⁺)	= 0,3 mg/l
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	= 30 mg/l
<u>Füllwasser:</u>	Ammonium (NH ₄ ⁺)	= 0,5 mg/l
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	= 50 mg/l

molare Masse (M):

M (NH ₄ ⁺)	= 14,007 g/mol + 4 * 1,008 g/mol	= 18,039 g/mol
M (NO ₃ ⁻)	= 14,007 g/mol + 3 * 15,999 g/mol	= 62,004 g/mol

Anteil von Stickstoff an der Gesamtverbindung:

Ammonium-N:	14,007/18,039
Nitrat-N:	14,007/62,004

umgerechnete geforderte Höchstwerte:

Badebecken:

Ammonium-N	= 14,007/18,039 * 0,3 mg/l	= 0,2 mg/l
Nitrat-N	= 14,007/62,004 * 30 mg/l	= 6,8 mg/l

Füllwasser:

Ammonium-N	= 14,007/18,039 * 0,5 mg/l	= 0,4 mg/l
Nitrat-N	= 14,007/62,004 * 50 mg/l	= 38,8 mg/l



Untersuchung der Nährstoffeinträge, Hygieneparameter und des Energiekonzeptes für ein Naturbad am Beispiel des Naturbadesees im Feriendorf Eisenberg „Günter Richta“ in Kirchheim

Bericht

vorgelegt bei der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt
(DBU)
Osnabrück

Projektleitung: Landeshauptstadt Hannover
FB Jugend und Familie

Abteilungsleiter:

Dipl.- Ing. J. Müller
MFPA Weimar
Abteilung Chemie und Umwelt
Coudraystrasse 9
99423 Weimar

Bearbeiter:

Dr. E.- Peter Kulle

Weimar, 30.10.2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung	1
3	Material und Methoden	2
3.1	Naturbadesee Eisenberg „Günter Richta“ in Kirchheim	2
3.2	Probenahme	4
3.3	Physikalische Parameter	5
3.3.1	Wassertemperatur	5
3.3.2	Sichttiefe	5
3.4	Chemische Parameter	5
3.4.1	pH-Wert	6
3.4.2	Elektrische Leitfähigkeit	6
3.4.3	Redoxspannung	6
3.4.4	Gesamt-Phosphor	6
3.4.5	Ammonium-Stickstoff	7
3.4.6	Nitrat-Stickstoff	7
3.5	Hygienisch-mikrobiologische Parameter	7
3.5.1	<i>Escherichia coli</i>	7
3.5.2	Enterokokken	7
3.5.3	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8
3.6	Zusammenfassung	8
4	Ergebnisse und Auswertung	9
4.1	Badebecken	10
4.1.1	Physikalische Parameter	10
4.1.2	Chemische Parameter	11
4.1.3	Hygienisch-mikrobiologische Parameter	15
4.2	Flachwasser und Filter	16
4.2.1	Physikalische Parameter	16
4.2.2	Chemische Parameter	16
4.2.3	Hygienisch-mikrobiologische Parameter	21
4.3	Füllwasser und Regenwasser	24
4.4	Frachtbetrachtung	27
4.4.1	Hydraulische Frachten (Füllwasser, Regenwasser)	28
4.4.2	Nährstoffe (Phosphor, Stickstoff)	30
4.4.3	"Tonnenversuche"	34
5	Zusammenfassung und Ausblick	35

Literaturverzeichnis I

Abkürzungsverzeichnis IV

Anhang..... VI

1 Einleitung

Erholung und Freizeitgestaltung in und mit dem Element Wasser besitzen in unserer heutigen Gesellschaft einen hohen Stellenwert. Naturnahe Schwimm- und Badeteichanlagen mit biologischer Wasseraufbereitung stellen eine umweltbewusste und chlorfreie Alternative zum herkömmlichen Schwimmbad dar. Schwimm- und Badeteiche sind der Natur nachempfundene Ökosysteme, bei denen die Selbstreinigungsfähigkeit eines Gewässers gezielt ausgenutzt wird. Die Wasseraufbereitung funktioniert vollbiologisch. Vor allem der Badende selbst bringt Verschmutzungen ein, die zu einem beträchtlichen Algenwachstum führen können und so dem Wasser einen unästhetischen Charakter verleihen. Zu hygienischen und gesundheitlichen Problemen kann es bei dem Vorhandensein von *Cyanobakterien* und pathogenen Keimen kommen. Zum Schutz des Badenden gelten deshalb in öffentlichen Anlagen gewisse Anforderungen an die Wasserqualität. Es werden stoffliche Parameter, wie Phosphor- und Nitratgehalt, physikalische Parameter, wie Sauerstoffsättigung und Sichttiefe und hygienisch-mikrobiologische Parameter in Form von Indikatorkeimen erfasst. Mit den Empfehlungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL Bonn) 2003 und den daraus weiterentwickelten Richtlinien (2011) ein allgemeingültiges Regelwerk für Bau, Planung, Instandhaltung und Betrieb solcher Schwimm- und Badeteichanlagen geschaffen.

2 Aufgabenstellung

Im Rahmen des mehrjährigen Forschungsprojekts sollten die Nährstoffeinträge und Hygieneparameter eines Freibades mit biologischer Wasseraufbereitung am Beispiel des Naturbadesees im Feriendorf Eisenberg „*Günter Richta*“ ermittelt werden. Besonderes Augenmerk galt hierbei den Einträgen von Nährstoffen und Keimen (*E. coli*) durch die Badenden („Tonnenversuche“), über Regenereignisse und das Füllwasser, sowie deren Eliminierung im Filter. Die Wirksamkeit der Wasseraufbereitung des Filterkörpers sollte anhand der zeitlichen Nährstoff- und Keimbelastung des Wassers in den Prozessstufen erfasst und hinsichtlich der Reinigungsleistung und Betriebsstabilität im Rahmen einer Stoffbilanz bewertet werden.

3 Material und Methoden

Hinsichtlich der Erfassung und Überwachung der relevanten chemischen und Hygiene-Parameter *Pseudomonas aeruginosa*, *E.coli*, Enterokokken, Sichttiefe und Gesamt-Phosphor liefen im Jahre 2011 Paralleluntersuchungen eines hessischen Labors im Auftrag der Gesundheitsbehörde Bad Hersfeld.

3.1 Naturbadesee Eisenberg „Günter Richta“ in Kirchheim

Der in den Jahren 2010/2011 von der Firma Polyplan GmbH errichtete Naturbadesee am Eisenberg in Kirchheim liegt ca. 550 m über NN in der Berglandschaft des hessischen Knüllgebirges. Hier betreibt die Stadt Hannover das Kinderferiendorf „Günter Richta“. Das Feriendorf ermöglicht insbesondere auch Kindern und Jugendlichen aus sozial schwachen Familien Erholung und Entspannung. So wird es von Kindergärten, Schulklassen und auch Sportvereinen gern genutzt (vgl. *Abb. 3*).

Der Schwimm- und Badeteich besteht aus einer Nutzwasserfläche von 855 m² (Volumen: 556 m³) und einem Regenerationsbereich von 375 m² (Volumen: 244 m³). Die Nutzwasserzone ist als Nichtschwimmerbereich mit einer maximalen Tiefe von 1,20 m ausgestattet. Der Badebereich ist nierenförmig angelegt und läuft zum Strandbereich flach aus. Es existieren zwei separate Strandzugänge, welche durch einen großen Holzsteg voneinander getrennt sind (vgl. *Abb. 1*). In der Mitte des Aufbereitungsbereiches befindet sich ein Quellstein, aus dem das Füllwasser der kommunalen Trinkwasserversorgung eingespeist wird. Drei Skimmer im Regenerationsbereich sorgen für eine zuverlässige Absaugung von Oberflächenwasserverschmutzungen (vgl. *Abb. 1* und *Abb. 2*).

Der Aufbereitungsbereich befindet sich im Becken des Badebereiches, man spricht daher von einem Einkammer- System. Beide Bereiche sind durch eine Trennwand voneinander getrennt. Das abgebadete Wasser strömt an drei abgesenkten Überlaufkanten über die Trennwand in den Regenerationsbereich. Nach der Passage des Filterkörpers wird das aufbereitete Wasser zurück in den Badebereich transportiert. Als Filterkörper dient ein submerser Bodenfilter, der partiell mit submersen und emersen Hydrophyten bewachsen ist.



Abb.1: *Badebecken mit Holzsteg, Juli 2011*



Abb. 2: *Regenerationsbereich mit 3 Skimmern und Quellstein, August 2012*

Das Naturbad ist eine öffentliche, nicht kostenpflichtige Anlage, bei der die Kontrolle der Besucherzahl aus betriebstechnischen Gründen nicht erfolgen kann.

Der Entwurfsplan des Badesees ist dem **Anhang 01** zu entnehmen.



Abb. 3: Naturbadesees, besucht, August 2012

3.2 Probenahme

Die Probenahme erfolgte wöchentlich innerhalb der Badesaison von Mitte Mai bis Mitte September 2011, 2012 und Mai bis Juni 2013. Einige Probenahmen erfolgten außerhalb der Badesaison. Die Parameter pH- Wert, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und Redoxspannung wurden vor Ort im jeweiligen Wasserkörper gemessen. Dabei wurden die entsprechenden Elektroden/Sensoren an unterschiedlichen Stellen im Badesee, Filter und Flachwasser über dem Filter eingetaucht und die ausgegebenen Werte notiert. Aus diesen Werten wurde der Mittelwert gebildet. Die Probeentnahme erfolgte manuell mit einem Schöpfgefäß, welches an einer Teleskopstange befestigt war. Das Schöpfgefäß wurde zuvor im Labor gereinigt, mit Aqua dest. intensiv gespült und anschließend in eine saubere Kunststoffolie eingewickelt. Damit sollten Verschmutzungen bis zur Probenahme verhindert werden.

Um die Heterogenität dieser Parameter in der gesamten Anlage zu erfassen, erfolgte die Probenahme ebenfalls an unterschiedlichen Stellen. Ein intensiv gereinigter und mit Aqua dest. gespülter Eimer wurde gefüllt und aus dessen Mischprobe die Probeflaschen befüllt. Die Proben wurden in einer Kühltasche gelagert und transportiert.

Um das Filterwasser zu beproben, mussten die Probenentnahmeschächte geöffnet werden. Die Schachtdeckel waren immer wieder Anlaufstelle von Vögeln. Nach einem Regenguss blieb auf den Abdeckungen der Schächte Rückstandswasser zurück, welches auf keinen Fall bei der Deckelabnahme in den Filter gelangen durfte.

Der Gesamt-Phosphor- Gehalt, die Ammonium- N- und Nitrat- N- Konzentrationen sowie die Keimzahl an *E.coli* und Enterokokken wurden im Labor der MFPA analysiert. Die Bestimmung des Parameters *Pseudomonas aeruginosa* erfolgte durch das Labor Dr. Mitsching, Weimar.

3.3 Physikalische Parameter

3.3.1 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur wurde mit einem Handmessgerät (WTW) vor Ort gemessen, welches in das Gerät zur Leitfähigkeitsmessung integriert war. Die Messung erfolgte im Badebeckenwasser, im Filterwasser und im Flachwasser über dem Filter [16] [17].

3.3.2 Sichttiefe

Die Sichttiefe wurde visuell ohne Hilfsmittel festgestellt, da an allen Tagen der Untersuchungen eine Sichttiefe bis auf den Grund des Badeteiches gegeben war [18].

3.4 Chemische Parameter

Die chemischen Parameter pH- Wert, elektrische Leitfähigkeit, Gesamt- Phosphor- Gehalt, Ammonium- Gehalt und Nitrat- Gehalt wurden für die Bereiche Badebecken, Filter, Flachwasser über dem Filter, Füllwasser und Regenwasser bestimmt. Eine Ausnahme stellte die Redoxspannung dar, denn sie wurde nur für die Bereiche Badebecken, Filter und Flachwasser über dem Filter bestimmt.

3.4.1 pH- Wert

Der pH-Wert ist eine dimensionslose Kennzahl, die als der negativ dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration definiert ist. Die Bestimmung erfolgte nach der DIN EN ISO 10523:2012 mit Hilfe des pH-Messgerätes „pH 320“ der Firma WTW [8] [16]. Bei den pH-Elektroden handelte es sich um elektrochemische Sensoren. Der pH- Wert wurde von der Anzeige des Gerätes abgelesen und dokumentiert.

3.4.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit liefert eine Aussage über die gelösten, ionischen Bestandteile einer wässrigen Lösung. Dieser Summenparameter ist abhängig von der Ionenart, der Ionenkonzentration sowie von der Temperatur [21]. Die Bestimmung erfolgte gemäß der DIN EN 27888:1993 mit einem portablen Leitfähigkeits-Messgerät (Konduktometer Cond 197i) der Firma WTW [22]. Da die elektrische Leitfähigkeit temperaturabhängig ist, musste diese Temperaturabhängigkeit korrigiert werden. Die Korrektur erfolgte geräteintern über Temperaturkorrekturfaktoren [16].

3.4.3 Redoxspannung

Die Redoxspannung liefert einen Hinweis auf das Vorhandensein von oxidierenden oder reduzierenden Stoffen im Wasser und dient als Maß für die Elektronenaktivität [16] [24]. Sie wurde mit dem Gerät „pH 320“ von WTW bestimmt, welches für die Messung des pH- Wertes und der Redoxspannung ausgelegt ist. Als Grundlage diente die DIN 38404-6:1984.

3.4.4 Gesamt- Phosphor (P_{ges})

Der P_{ges} - Gehalt der Wasserprobe wurde mittels Aufschluss nach DIN EN ISO 6878:2004 bestimmt. Dabei handelt es sich um eine photometrische Bestimmung des Gesamt-Phosphor-Gehaltes nach dem Aufschluss mit Kaliumperoxodisulfat. Für diesen Ansatz wurde ein Test- Kit der Firma Merck-Chemicals verwendet.

3.4.5 Ammonium- Stickstoff

Ammonium- Stickstoff kommt im Wasser, abhängig vom pH- Wert, in Form von NH_4^+ - Ionen, NH_4OH oder NH_3 vor [26]. Die Bestimmung erfolgte gemäß der DIN 38406-5:1983. Die Ammonium- Bestimmung beruht auf einer photometrischen Messung.

3.4.6 Nitrat- Stickstoff

Der Nitrat- N wurde gemäß der DIN 38405-9:2011 bestimmt.

3.5 Hygienisch-mikrobiologische Parameter

Die Gehalte an *E.coli*, Enterokokken und *Pseudomonas aeruginosa* in den Wasserproben wurden in KBE angegeben. Darunter wird im Allgemeinen die Anzahl von Mikroorganismen in einer festgelegten Wassermenge verstanden.

3.5.1 Escherichia coli

Die Quantifizierung von *E.coli* im Badebeckenwasser, im Filterwasser und im Flachwasser über dem Filter erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 9308-1 sowie mit speziellen Nährkartonscheiben (Selektivmedien) „ECD-MUG- NKS“ (analog „Schweizerisches Lebensmittelbuch“) und „Colichrom- NKS“. Bei den Nährkartonscheiben (NKS) handelt es sich um sterile Trockennährböden aus Zellulosekarton mit integrierten Nährstoffen. Sie werden in einer sterilen Petrischale geliefert und sind im Labor leicht und praktikabel handhabbar [28].

3.5.2 Enterokokken

Die Zahl der (intestinalen) Enterokokken im Badebeckenwasser, im Filterwasser und im Flachwasser über dem Filter erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 7899-2 sowie mit den speziellen Nährkartonscheiben „Enterokokken- NKS“ (Rezeptur nach Trinkwv. 2001, ISO 7899) und „Azid- NKS“.

3.5.3 Pseudomonas aeruginosa

Pseudomonas aeruginosa wurde im Labor „Dr. Mitsching- Labor für Hygiene und Mikrobiologie“ in Weimar bestimmt. Die Bestimmung erfolgte gemäß der DIN EN ISO 16266:2008.

3.6 Zusammenfassung

In der *Tabelle 1* wurden die Bestimmungen der physikalischen, chemischen und hygienisch- mikrobiologischen Parameter zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1: Überblick über die bestimmten Parameter

Parameter		Bestimmungsmethode	Untersuchung
physikalisch	Sichttiefe	visuell	vor Ort
	Wassertemperatur	DIN 38404-4	vor Ort
chemisch	Ammonium	DIN 38406-5	Labor MFPA
	Gesamtphosphor	DIN EN ISO 6878	Labor MFPA
	Leitfähigkeit	DIN EN 27888	vor Ort
	Nitrat	DIN 38405-9	Labor MFPA
	pH-Wert	DIN EN ISO 10523	vor Ort
	Redoxspannung	DIN 38404-6	vor Ort
hygienisch- mikrobiologisch	<i>E. coli</i>	DIN EN ISO 9308-1; ECD-MUG-, Colichrom- NKS	Labor MFPA
	Enterokokken	DIN EN ISO 7899-2; Enterokokken-, Azid-NKS	Labor MFPA
	<i>P. aeruginosa</i>	DIN EN ISO 16266	Labor Dr. Mitsching

4 Ergebnisse und Auswertung

Aufgrund der Tatsache, dass bei der Messwertermittlung messtechnisch bedingte Analyseergebnisse wie $<0,001$, $<0,01$ und $<0,1$ aufgezeichnet wurden, mussten die nachfolgenden Annahmen getroffen werden (vgl. *Tab. 2*).

Tabelle 2: *Getroffene Annahmen bezüglich der messtechnisch bedingten Grenzwerte*

Parameter	Grenzwert	Annahme
Ammonium-N	$<0,001$	0
	$<0,01$	0,005
Nitrat-N	$<0,001$	0
	$<0,01$	0
	$<0,1$	0,05
Gesamt-Phosphor	$<0,001$	0

Die Werte der jeweiligen Parameter wurden in Diagrammen des Tabellenkalkulationsprogrammes Excel 2007 in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen und ausgewertet. Die einzelnen Messwerte wurden als Punkte dargestellt. Wenn seitens der FLL 2011 „Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm- und Badeteiche)“ Höchstwerte bzw. Minimalwerte (Richtwerte) vorgegeben waren, wurden diese in dem jeweiligen Diagramm eingefügt oder im dazugehörigen Text vermerkt.

In den Untersuchungen wurden Ammonium- Stickstoff- bzw. Nitrat- Stickstoff- Werte erfasst. Um einen Vergleich mit den geforderten Höchstwerten nach FLL-Richtlinie zu ermöglichen, wurden die Grenzwerte umgerechnet.

4.1 Badebecken

4.1.1 Physikalische Parameter

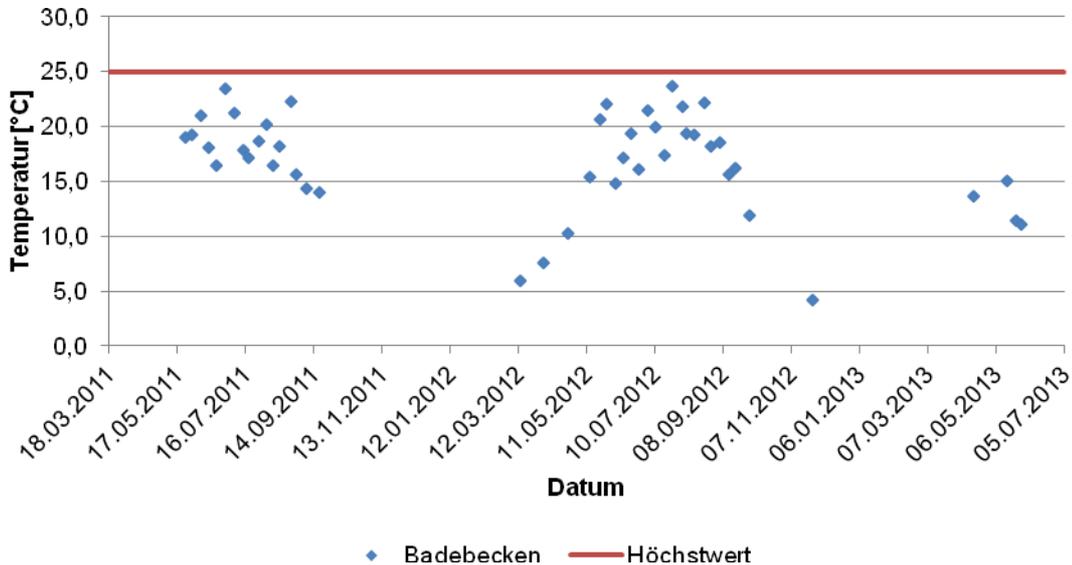


Abb. 4: Wassertemperatur des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchstwert nach FLL- Richtlinie 2011

In *Abbildung 4* wird ersichtlich, dass in den Sommermonaten höhere Wassertemperaturen als außerhalb der Badesaison gemessen wurden. Die Wassertemperaturen folgten den Umgebungstemperaturen und unterlagen somit den jahreszeitlichen Schwankungen. Im Badebecken blieben die Wassertemperaturen während des gesamten Versuchszeitraumes unter dem in der FLL- Richtlinie 2011 geforderten Richtwert von 25°C.

Länger anhaltende Temperaturen über 25°C können das Wachstum von Phytoplankton und pathogenen Keimen erhöhen. Während erhöhte Gehalte an Phytoplankton (mit Ausnahme der Blaualgen= *Cyanobakterien*) für den Menschen nicht problematisch sind, können erhöhte Konzentrationen an Krankheitserregern eine Gefahr darstellen [29].

An allen Untersuchungstagen war eine Sichttiefe bis auf den Grund des Badebeckens gegeben. Es gab keine Einschränkungen durch Eintrübungen oder auffälliges Algenwachstum.

4.1.2 Chemische Parameter

Die aufgezeigte Stabilität des **pH- Wertes** (vgl. *Abb. 5*) ist bedeutsam für das Funktionieren eines Ökosystems, z. B. Badeteich, denn große Schwankungen des pH-Wertes führen zu einer Stresssituation der im Wasser lebenden Makro- und Mikroorganismen. Der Abbau der eingebrachten Stoffe kann dadurch weniger intensiv oder unvollständig erfolgen [30].

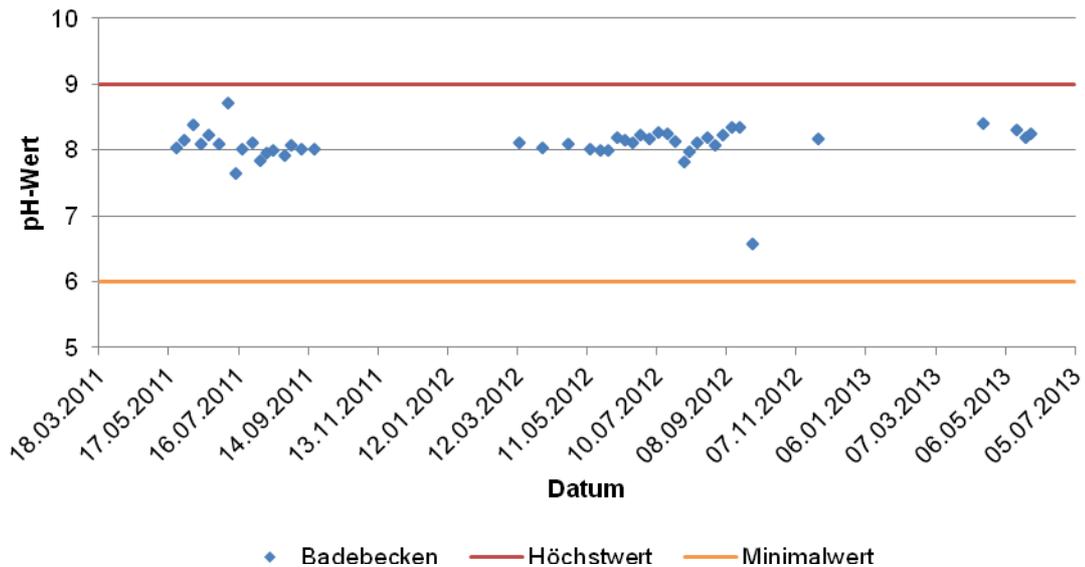


Abb. 5: pH- Wert des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchst- bzw. Minimalwert nach FLL- Richtlinie 2011

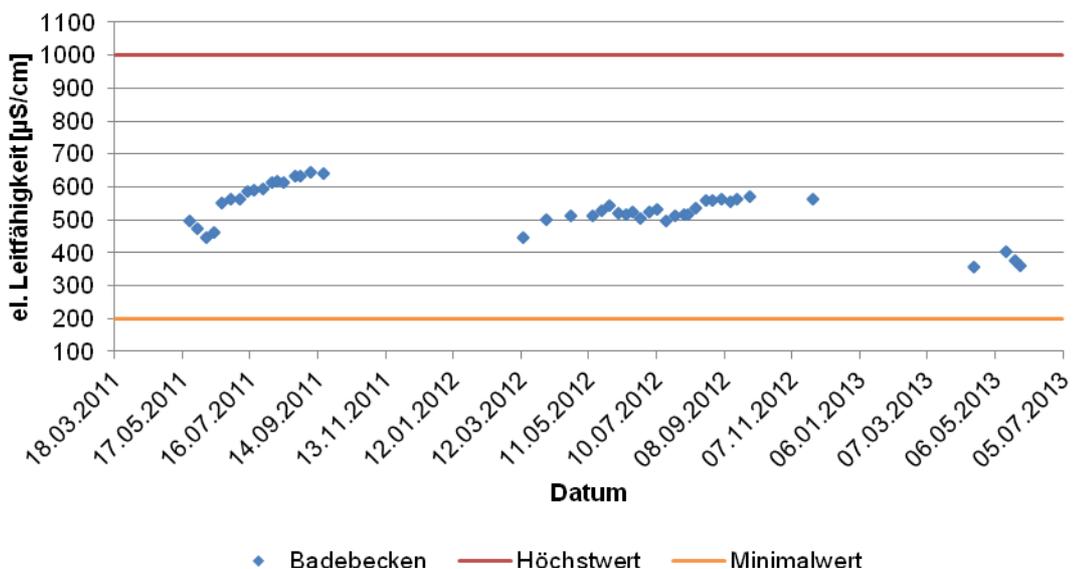


Abb. 6: Elektrische Leitfähigkeit des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchst- bzw. Minimalwert nach FLL- Richtlinie 2011

Im Jahr 2011 wurden für die **elektrische Leitfähigkeit** des Badebeckenwassers Werte im Bereich zwischen 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ erfasst. In 2012 bewegte sich die elektrische Leitfähigkeit zwischen 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 580 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Monate Mai und Juni 2013 zeigten eine, im Vergleich zu den vorherigen Jahren relativ geringe Leitfähigkeit (vgl. *Abb. 6*). Die Ursache hierfür liegt höchstwahrscheinlich in den hohen Anteilen Regenwasser in diesem Zeitraum. In *Abbildung 23* wird erkenntlich, dass das Regenwasser eine sehr geringe Leitfähigkeit besitzt und bei hoher Eintragsmenge in der Lage ist, die elektrische Leitfähigkeit der gesamten Anlage zu dominieren.

Der Verlauf der Messwerte der **Redoxspannung** in *Abbildung 7* zeigte erhebliche Schwankungen, lag aber immer im eindeutig positiven Bereich. Das bedeutet, es gab vorrangig kaum Sauerstoff-zehrende Prozesse im Badebeckenwasser. Das Absinken der Redoxspannung in den Sommermonaten 2012 lässt sich dadurch erklären, dass die vermehrt eingebrachten nährstofflichen Belastungen (hoher Badebetrieb) von den Mikroorganismen unter Sauerstoffverbrauch abgebaut wurden. Dies muss sowohl für den Biofilm des Filterkörpers als auch den Nutzungsbereich gesehen werden [8].

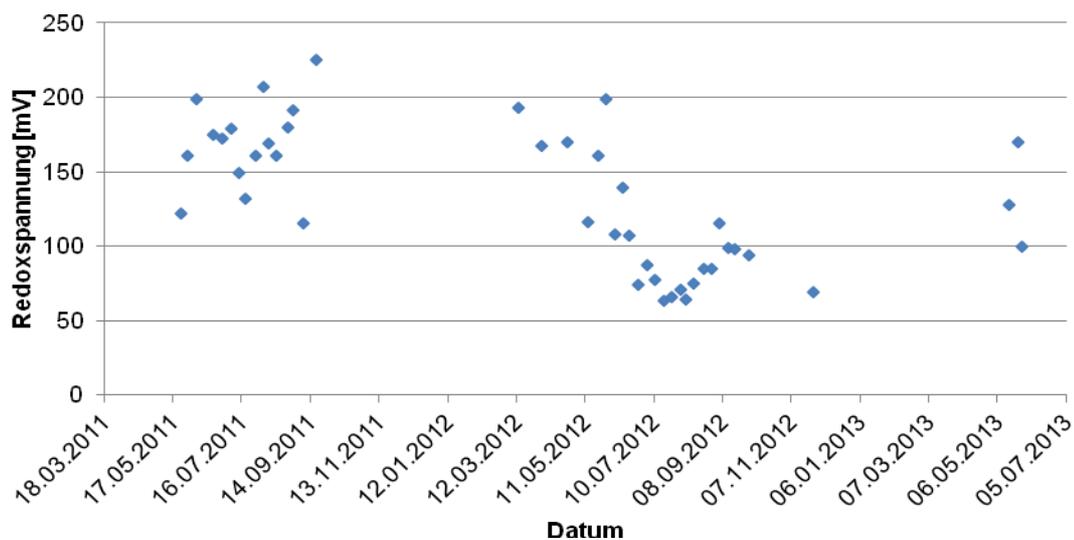


Abb. 7: Redoxspannung des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum

Dem Nährstoff **Phosphor** muss besondere Bedeutung zugeschrieben werden. Er gelangt vor allem durch die Badenden selbst, aber auch durch tierische Ausscheidungen ins Wasser. Bereits sehr kleine Mengen Phosphat reichen aus, um im Schwimm- und Badeteich trotz Stickstoffmangel eine beträchtliche Menge Algen- Biomasse zu produzieren.

Der erlaubte Höchstwert an Phosphor im Badebeckenwasser wurde fast ausnahmslos eingehalten (vgl. *Abb. 8*). An den meisten Untersuchungstagen lag die P_{ges} -Konzentration unter 0,005 mg/l. Trotzdem wurde im Badewasser immer wieder beginnendes Algenwachstum festgestellt. Besonders nach warmen Tagen bei hohem Badebetrieb und erheblicher Füllwassereinspeisung mussten Algenkolonien aus dem Nutzungsbereich entfernt werden (vgl. *Tab. 6, Anhang 02*).

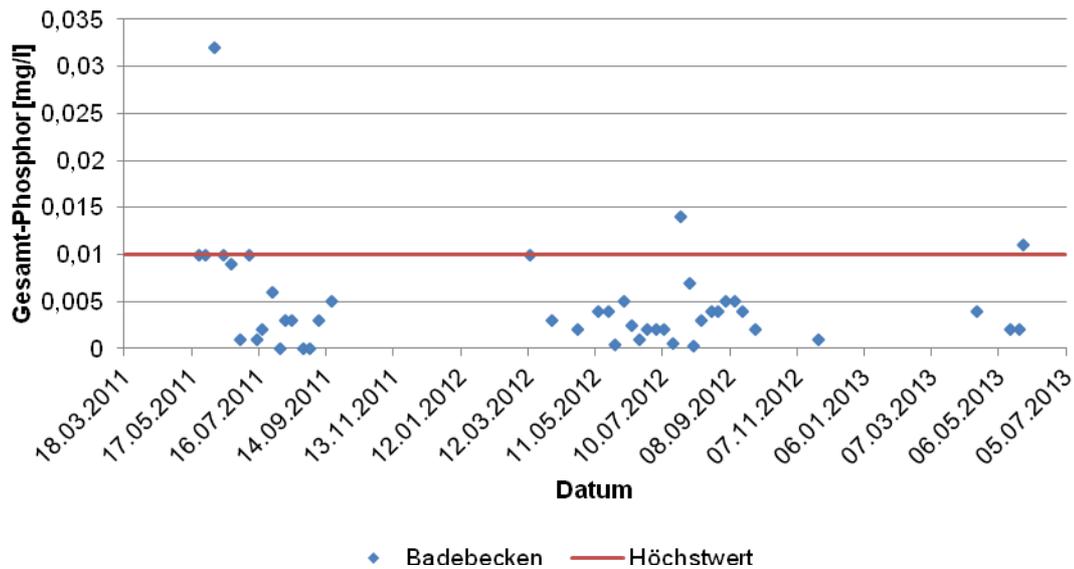


Abb. 8: Gesamt- Phosphor- Gehalt des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchstwert nach FLL- Richtlinie 2011

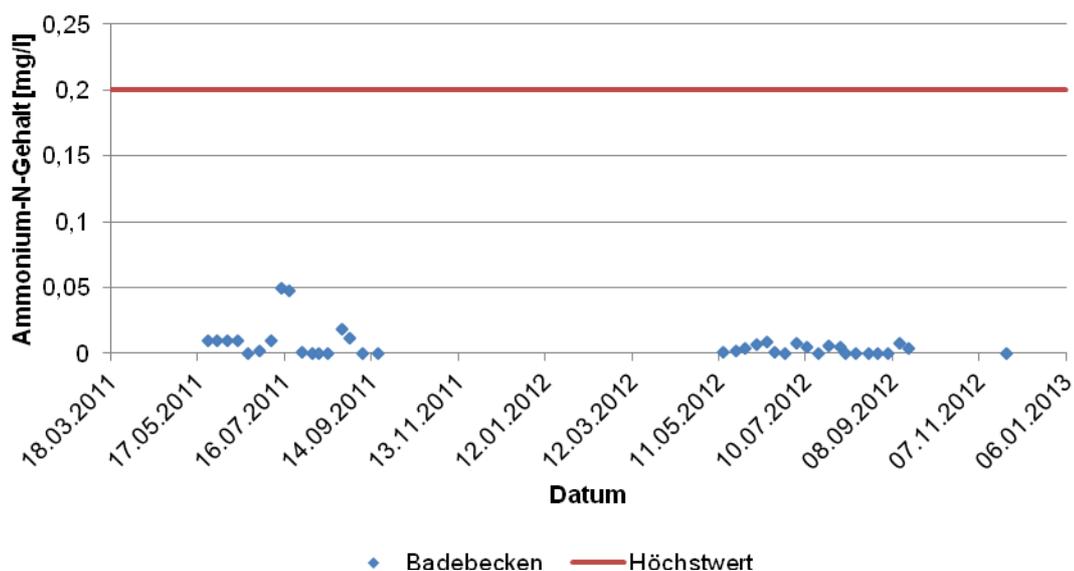


Abb. 9: Ammonium-N- Gehalt des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchstwert nach FLL- Richtlinie 2011

Der Ammonium-N- Gehalt des Badebeckens hielt sich relativ stabil unter 0,01 mg/l. Nur an zwei Beprobungstagen traten Konzentrationen von etwa 0,05 mg/l auf. Der Grenzwert von 0,2 mg/l wurde nicht überschritten, wie in *Abbildung 9* gezeigt wird.

Beim durchweg sehr niedrigen Nitrat-N- Gehalt wurden geringe Schwankungen festgestellt (vgl. *Abb. 10*). Die Nitrat-N- Konzentration bewegte sich 2011 weitestgehend im Bereich zwischen 0,4 und 1,2 mg/l und 2012 größtenteils unter 0,7 mg/l. Der nach FLL- Richtlinie 2011 geforderte Höchstwert wurde an keinem Beprobungstag überschritten.

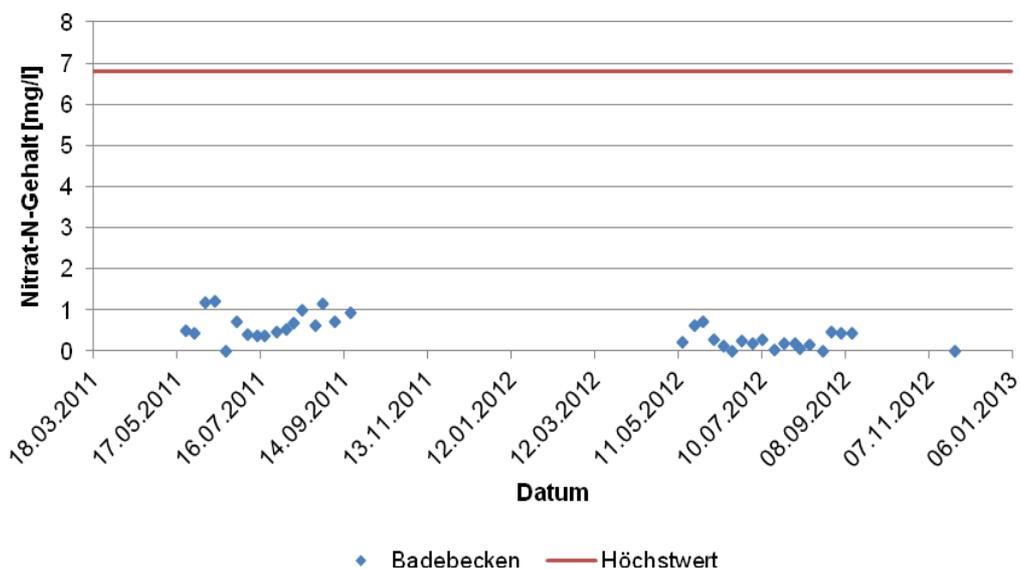


Abb. 10: Nitrat-N- Gehalt des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchstwert nach FLL- Richtlinie 2011

Stickstoff ist ein essentieller Nährstoff und ausschlaggebender „Motor“ des Pflanzenwachstums. Er gelangt hauptsächlich durch menschliche und tierische Ausscheidungen (Urin) in den Schwimmteich [8]. Darüber hinaus ist der Stickstoffeintrag durch das Regenwasser und Füllwasser von Bedeutung. Die vorgegeben Grenzwerte an Ammonium-N und Nitrat-N wurden im Badebeckenwassers weit unterschritten. Die Gefahr eines übermäßigen Phytoplankton- und Cyanobakterien- Wachstums im Zusammenspiel mit Phosphor war nicht gegeben. Es wurde nur ein geringes Algenwachstum im Badebecken festgestellt (vgl. *Tab. 6, Anhang 02*). Vorhandenes Ammonium kann bei der Bodenfilterpassage schnell durch nitrifizierende Bakterien umgewandelt werden [8].

4.1.3 Hygienisch-mikrobiologische Parameter

Die Untersuchung der Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken liefert eine Aussage über die fäkale Belastung eines Badewassers. Die hygienische Beeinträchtigung des Wassers erfolgt hauptsächlich durch den Badenden, der ggf. Krankheitserreger in hohen Konzentrationen ausscheiden kann [8]. Eine Hintergrundbelastung war am Naturbadesee Kirchheim beständig durch Wasservögel gegeben und ließ sich nicht vermeiden.

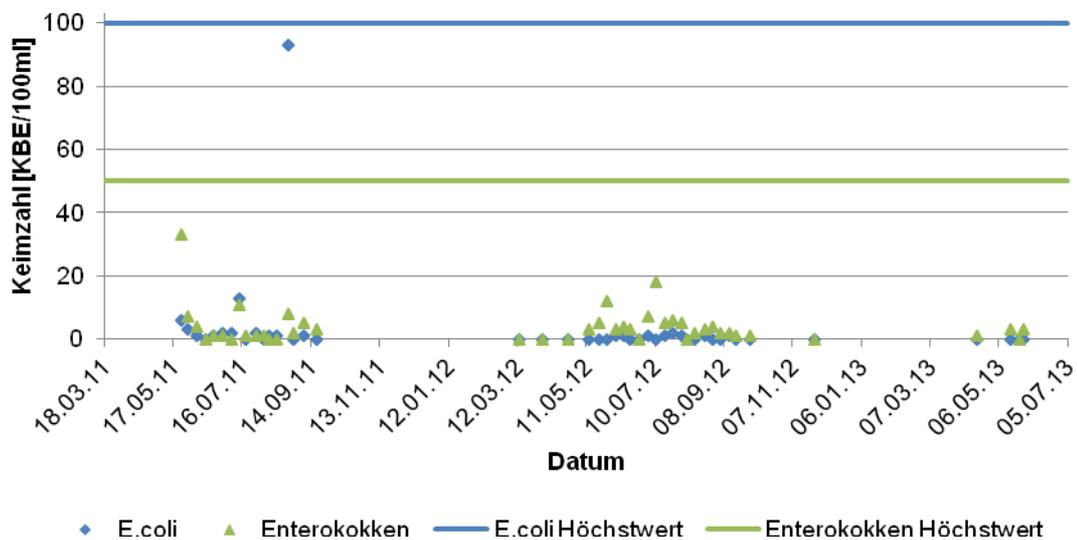


Abb. 11: Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Badebeckenwasser im Beprobungszeitraum mit den dazugehörigen Höchstwerten nach FLL- Richtlinie 2011

Im Untersuchungsjahr 2011 lagen die Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Badewasser sehr oft bei nahezu identischen Werten. Im Jahr 2012 waren die Keimzahlen an Enterokokken gegenüber *E. coli* erhöht. Enterokokken zeichnen sich gegenüber *E.coli* durch längere Überlebenszeiten (Persistenz) aus [31]. Die festgelegten Höchstwerte nach der FLL- Richtlinie aus dem Jahre 2011 im Badebeckenwasser von 100 KBE/100ml an *E. coli* und 50 KBE/100ml an Enterokokken wurden weit unterschritten (vgl. *Abb. 11*). Höchstwertnähe wurde nur an zwei Versuchstagen erreicht.

Pseudomonas aeruginosa trat bei allen Beprobungen 2011, 2012 und 2013 nicht auf und wird daher nicht weiter betrachtet.

Die Bestimmung der Keimzahlen mit den Nährkartonscheiben der Firma „Dr. Möller & Schmelz GmbH“ stellte eine sichere und schnelle Alternative der Keimzahlbestimmung dar. Die Schnellmethode ist eine nach DIN EN ISO 9001:2008 zertifizierte und in der Praxis erprobte Methode zum Nachweis und zur Selektion von Mikroorganismen. Bei Paralleluntersuchungen eines hessischen Labors wurden die Werte nach der Schnellmethode bestätigt.

4.2 Flachwasser und Filter

4.2.1 Physikalische Parameter

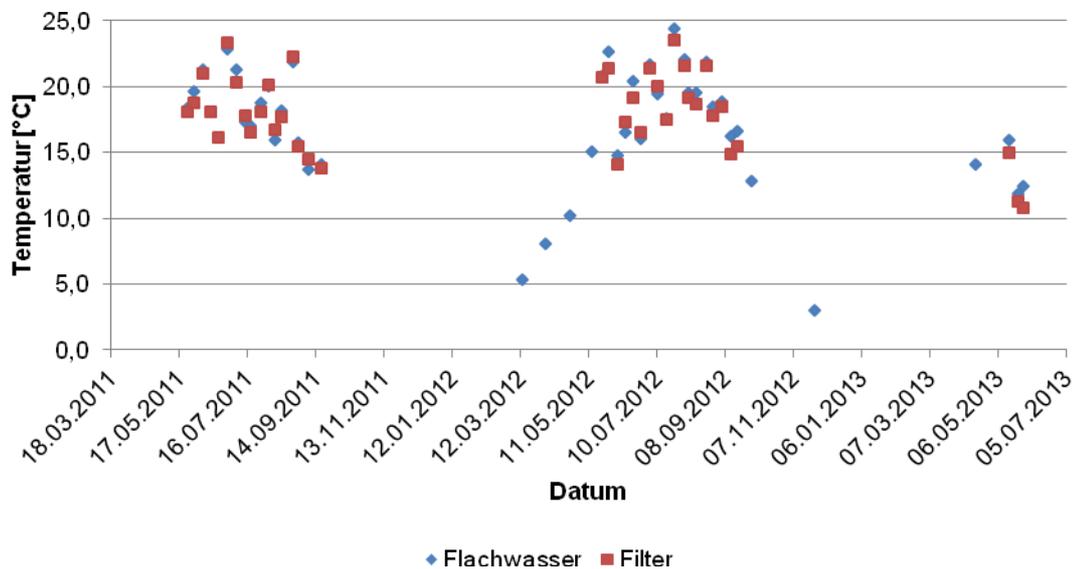


Abb. 12: Wassertemperaturen im Filter- und Flachwasser im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 12* lässt erkennen, dass die **Wassertemperaturen** im Filter und im Flachwasserbereich nahezu identisch waren. Auch hier wurden in den Sommermonaten höhere Temperaturen erfasst als in den übrigen Monaten des Jahres (vgl. *Abb. 4*).

4.2.2 Chemische Parameter

Die **pH- Werte** des Filterwassers und des Flachwassers hielten sich relativ stabil bei etwa pH 8, was der pH- Messwertverlauf in *Abbildung 13* zeigt. Zumeist war der pH- Wert des Flachwassers leicht höher als der des Filterwassers.

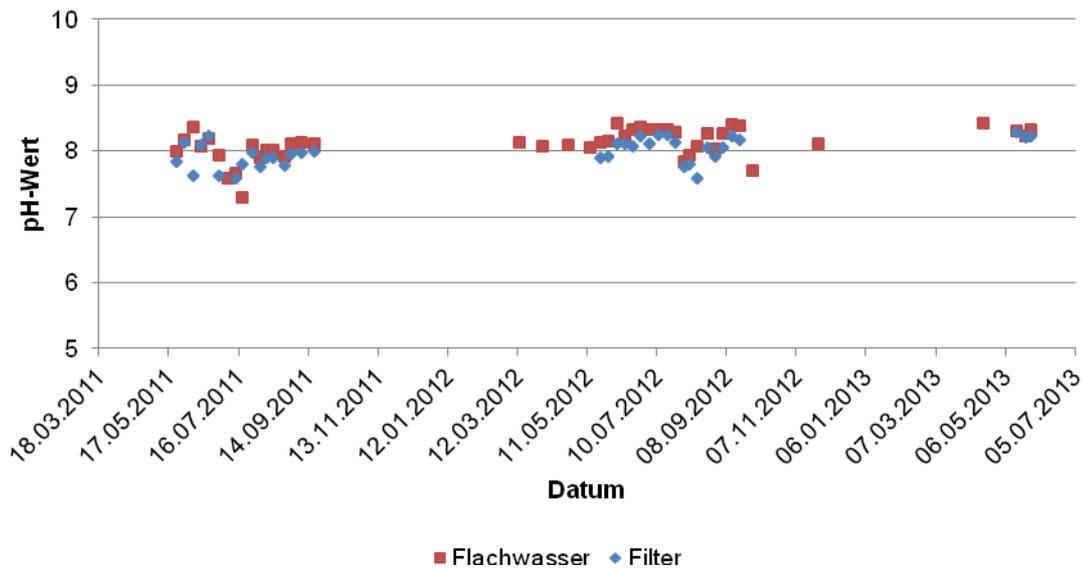


Abb. 13: pH- Werte des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

Die **elektrische Leitfähigkeit** verhielt sich im Flachwasser und im Filterwasser ähnlich wie im Badebeckenwasser (vgl. Abb. 6,14). Im Jahr 2011 stieg die elektrische Leitfähigkeit des Filterwassers und des Flachwasser von Mai bis September (Badesaison) stetig an. Auch im Jahr 2012 verhielten sich die beiden Bereiche bezüglich dieses Parameters gleich. Jedoch lag die elektrische Leitfähigkeit insgesamt niedriger als 2011 und schwankte im Bereich zwischen 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Im Mai und Juni 2013 wurden sehr niedrige Leitfähigkeiten zwischen 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen. Der Einfluss des Füll- und Regenwassers kommt ursächlich darin zum Ausdruck.

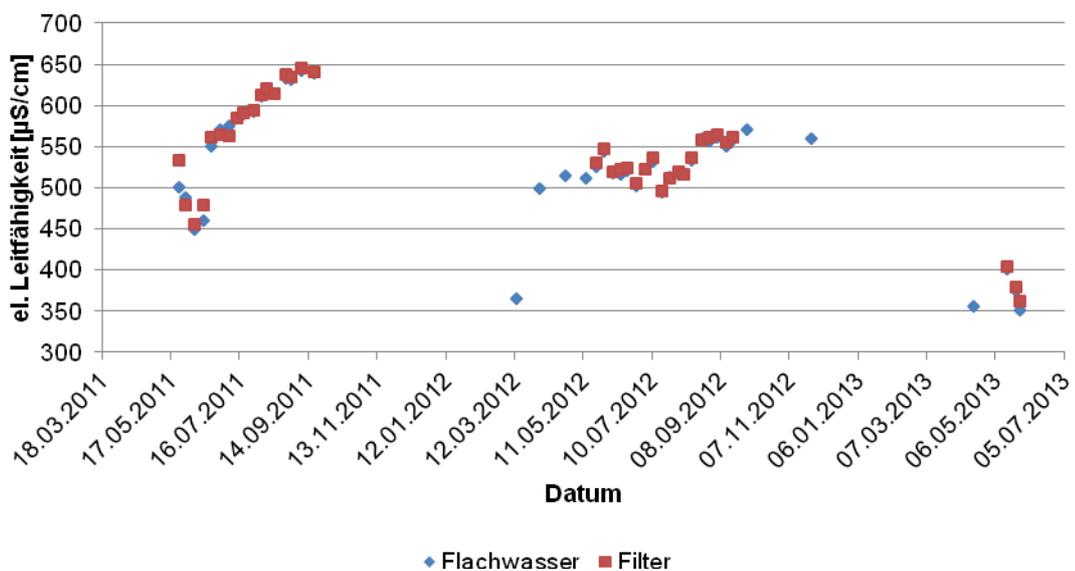


Abb. 14: Elektrische Leitfähigkeit des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 15* zeigt, dass die **Redoxspannung** im Filter- und Flachwasser stark schwankte, jedoch stets positive Werte erfasst wurden. In den Sommermonaten 2012 sank die Redoxspannung im Laufe des Badebetriebes. Die Ursachen können in der erhöhten Nutzung des Schwimmbades und dem dadurch zunehmenden Eintrag von nährstoffseitigen Belastungen liegen.

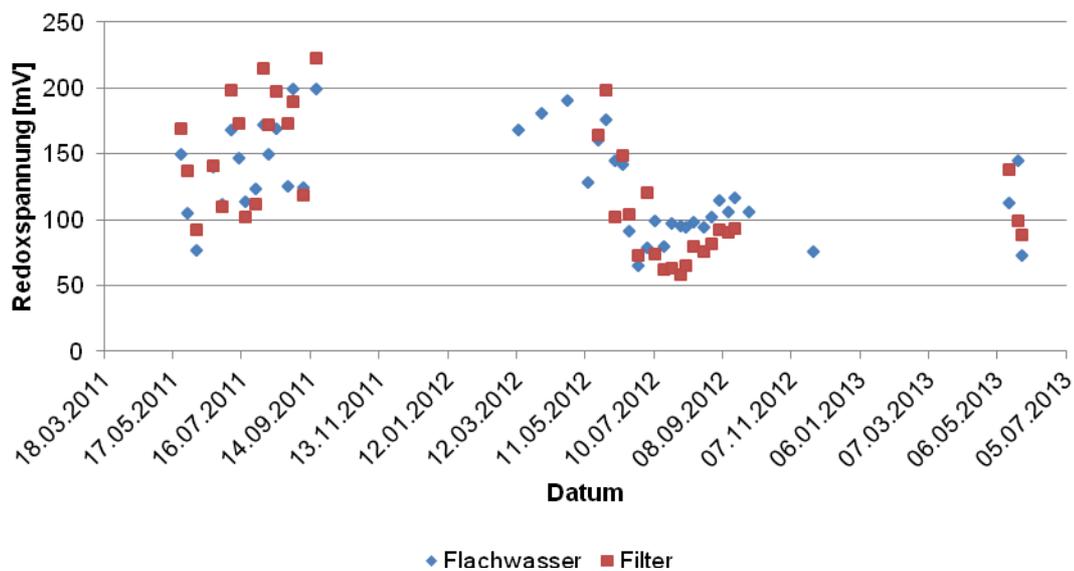


Abb. 15: Redoxspannung des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 16* verdeutlicht, dass vor allem in den Monaten Mai und Juni 2011 im Flach- und Filterwasser **P_{ges} - Konzentrationen** über 0,01 mg/l auftraten. An den restlichen Beprobungstagen 2011, 2012 und 2013 bewegte sich der P_{ges} - Gehalt größtenteils unter 0,01 mg/l. Der Gesamt-Phosphor- Gehalt im Flachwasser war generell höher als im Filterwassers. Durch den Nährstoffabzug aus dem oberflächennahen Wasser des Badebeckens, den „Vogelbesuch“ und die Füllwassereinspeisung ist die Flachwasserzone der stärkste phosphorseitig belastete Teil des Systems.

Am Ende der ersten Saisonhälfte 2011 traten verstärkt Algen in der Flachwasserzone auf, besonders um den Füllstein herum (vgl. *Abb.17* und *Tab. 6, Anhang 02*). Die Algen trugen zur intensiven P- und N- Eliminierung bei.

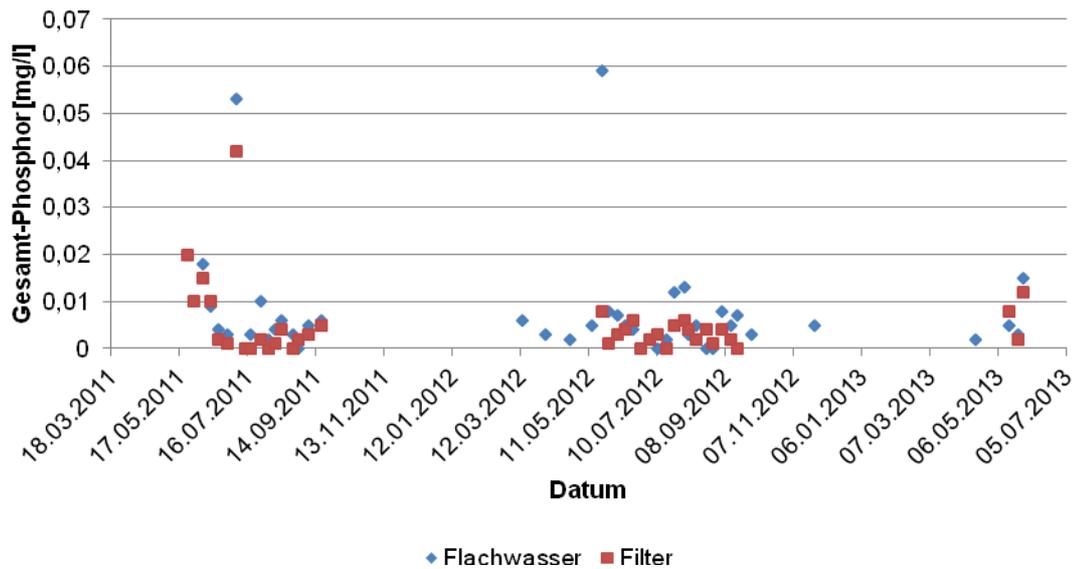


Abb. 16: Gesamt-Phosphor-Gehalt des Filterwasser und des Flachwassers über dem Filter im Beprobungszeitraum

Im Jahresverlauf 2011 und in der Folgezeit konnten sich der Biofilm im Filterkörper sowie die Wasserpflanzen im Regenerationsbereich weiter ausbilden („Einfahrzeit“).



Abb. 17: Algenwachstum in der Flachwasserzone, Juni 2011

In der *Abbildung 18* ist zu erkennen, dass der **Ammonium-N-** Gehalt des Flach- und Filterwassers in der ersten Saisonhälfte 2011 höher war als im restlichen Analysezeitraum. Nach der Einfahrphase war der Ammonium-N- Gehalt in beiden Zonen stabiler. Im ersten Versuchsjahr blieben der Ammonium-N- Gehalt des Flach- und Filterwassers zumeist unter 0,02 mg/l. Im Jahr 2012 wurden niedrigere Werte bis etwa 0,014 mg/l erfasst. Der Ammonium-N- Gehalt des (aufbereiteten) Filterwassers lag unter dem der Flachwasserzone.

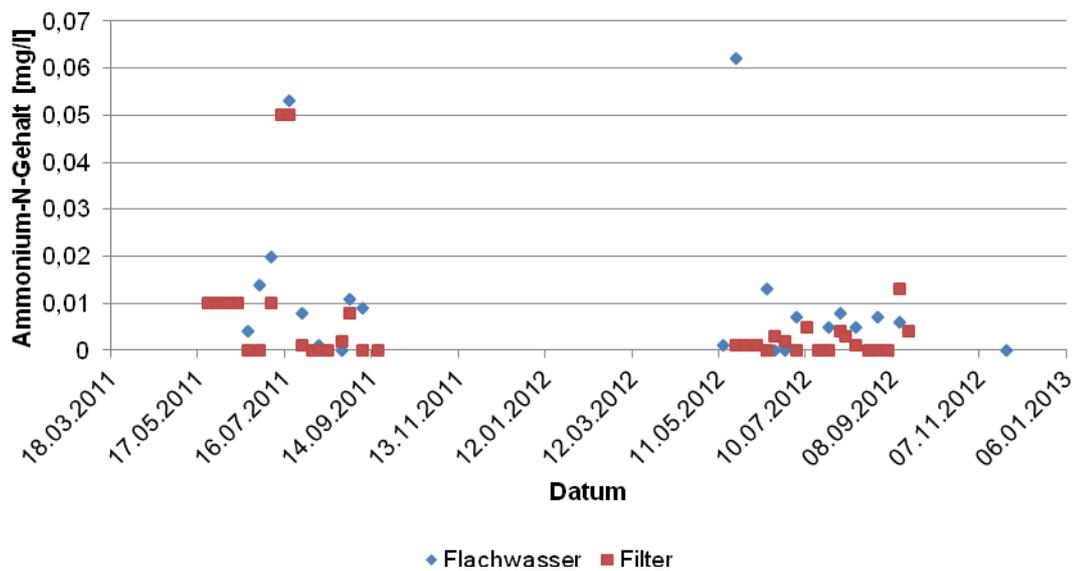


Abb. 18: Ammonium-N-Gehalt des Filterwassers und des Flachwassers über dem Filter im Beprobungszeitraum

Der Verlauf der Messwerte in *Abbildung 19* zeigt, dass die **Nitrat-N-** Konzentrationen 2011 über denen in 2012 lagen. Im ersten Beprobungsjahr wurden Werte unter 1,6 mg/l erfasst. Im zweiten Untersuchungsjaar erreichte der Nitrat-N- Gehalt nur noch Maximalwerte von 0,5- 0,6 mg/l. Durch Nitrifikationsprozesse im Bodenfilter bedingt lag der Nitrat-N- Gehalt des Filterwassers meistens über dem des Flachwassers.

Grundsätzlich kann N über Aufnahme in die Algenbiomasse, Deammonifikations- und Denitrifikationsprozesse eliminiert werden.

Das System Badeteich muss aufgrund der extrem niedrigen Nährstoffkonzentrationen als *oligotroph* (nährstoffarm) bezeichnet werden.

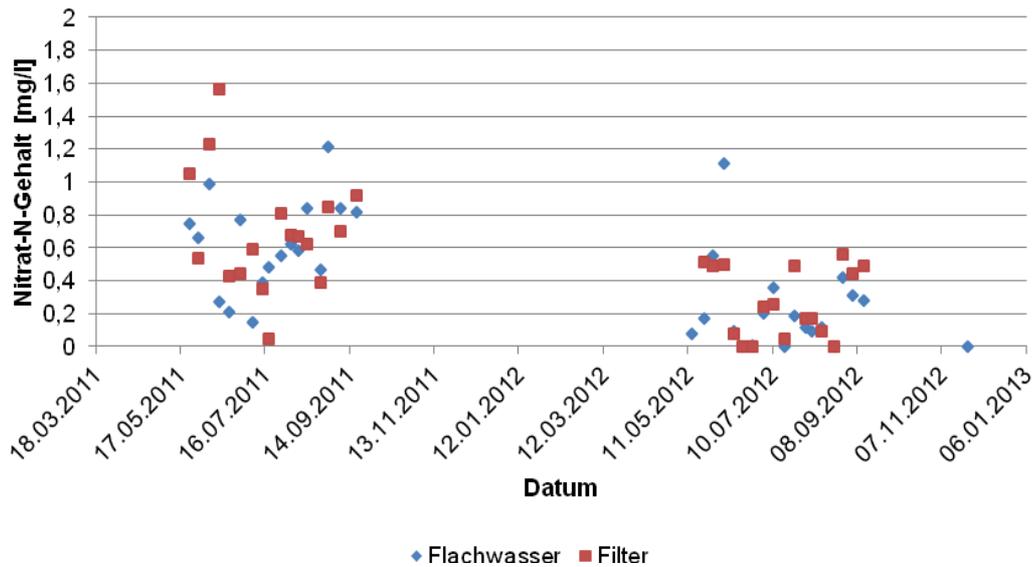


Abb. 19: Nitrat-N- Gehalt des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

4.2.3 Hygienisch-mikrobiologische Parameter

Im Flachwasser oberhalb des Filters lag die Enterokokken- Gehalt meist über der *E.coli*- Konzentration, was sich in der *Abbildung 20* zeigt. Während 2011 zumeist Keimzahlen unter 90 KBE/100 ml erfasst wurden, schwankten sie 2012 unter 50 KBE/100 ml. In den ersten Versuchsmonaten 2013 lagen die Konzentrationen der Indikatorbakterien größtenteils unter 20 KBE/100 ml.

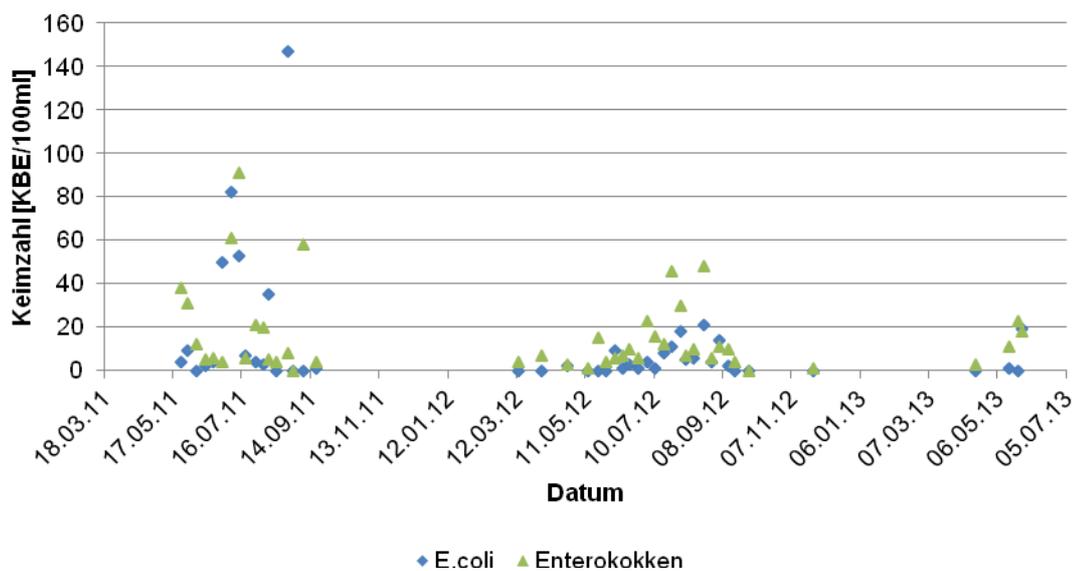


Abb. 20: Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Flachwasser im Beprobungszeitraum

Auch im Filterwasser wurden 2011 höhere Keimzahlen als im darauffolgenden Jahr registriert. Im ersten Jahr schwankten die Werte unter 4 KBE/100 ml, im zweiten Jahr wurden nur Maximalwerte von 2 KBE/100 ml erreicht (vgl. Abb. 21).

Im Filterwasser wurden geringere Zahlen der Indikatorkeime als im Badewasser registriert. Dies spricht für die Qualität der Wasseraufbereitung über die Filterpassage.

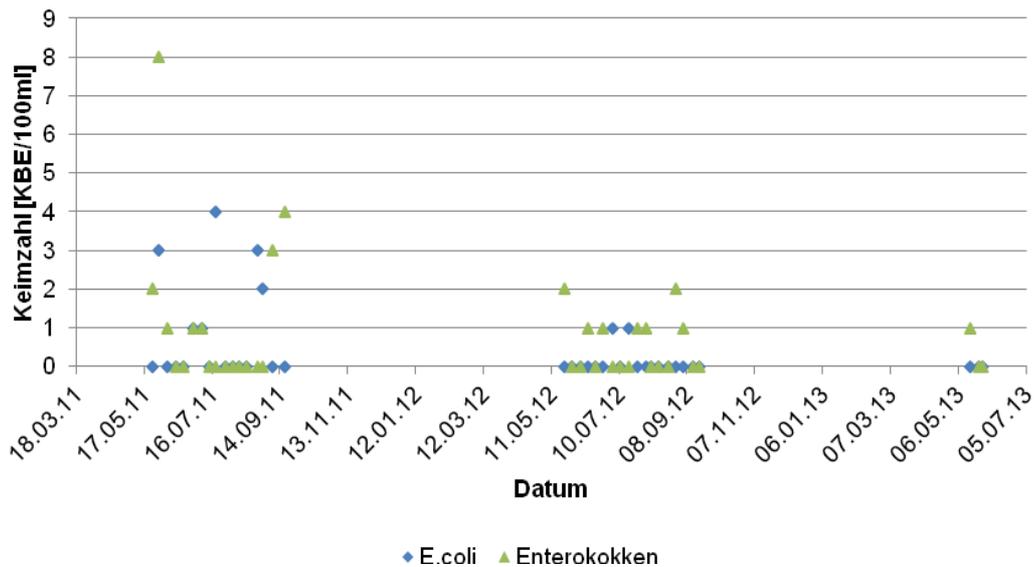


Abb. 21: Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Filterwasser im Beprobungszeitraum

Die Keimzahlen im Flachwasser lagen stetig über denen des Bade- und Filterwassers. Das Wasser vom Badebecken strömt in den Regenerationsbereich und passiert danach vertikal den Filter. Aufgrund der geringeren Wassermenge über dem Filter kam es wahrscheinlich zu einer Aufkonzentrierung an Keimen, bevor diese mit der Filterpassage eliminiert werden konnten. Der Bodenfilter war in der Lage, die Indikatorkeime im Wasser zuverlässig und problemlos zu beseitigen und kontinuierlich auf einem niedrigen Niveau zu halten. Unterstützt wurde dieser Prozess durch solare Einflüsse und die des Zooplanktons.

Der „Problemkeim“ *Pseudomonas aeruginosa* konnte an keinem Beprobungstag nachgewiesen werden. Der Erreger von Mittelohrentzündungen ist normalerweise als opportunistischer Keim auch in natürlichen Systemen ubiquitär vertreten [9]. Damit ist seine Indikatorfunktion nur eingeschränkt zu bewerten.

Keimeliminierung im Filterkörper

Die Eliminationsraten für die Indikatorkeime *E.coli* und Enterokokken wurden bestimmt, um über die Keimreduktion des Filterkörpers eine Aussage zu treffen. Für das Flachwasser (oberhalb des Filter) wurde eine hygienische Belastung von 100 % angenommen, da das „abgebadete“ Wasser aus dem Nutzungsbereich in die Flachwasserzone einströmte und dort zusammen mit der hygienischen Kontamination durch Wasservögel (Hintergrundbelastung) die höchste Konzentration an Keimen erreichte. Die Keimzahlen des Filterwassers und des Flachwassers wurden ins Verhältnis gesetzt. Das Badebeckenwasser war lediglich das Resultat der Einspeisung des Filterwassers in den Nutzungsbereich und wurde hierbei nicht betrachtet. Aufgrund der Aufenthaltszeit des Wassers im System und den unmittelbar aufeinanderfolgenden Probenahmen ist zu berücksichtigen, dass die Proben aus dem Filter zeitlich nicht unmittelbar mit den Proben aus dem Flachwasser korrelierten. Die Aufenthaltszeiten des Wassers im jeweiligen Wasserkörper waren bedingt durch den Pumpenzyklus. Diese interne Verschiebung verlor jedoch aufgrund der untersuchten Probendichte an Wertigkeit.

Tabelle 3: Eliminationsraten von *E.coli* und Enterokokken im Filter

	Eliminationsrate in %	
	<i>E.coli</i>	Enterokokken
Mittelwert	91,40	89,56
Median	100	100

Die Eliminationsraten wurden aus dem Median und Mittelwert der Analysenergebnisse gebildet und in der *Tabelle 3* dargestellt. Sowohl für *E.coli* als auch die Enterokokken bewirkte der Filterkörper durchschnittlich (arithmetisches Mittel) eine Keimeliminierung von einer 10er-Potenz. Der Median blieb unbeeinflusst von „Ausreißern“ und ergab eine Reduktionswirkung von 100 %. Die Ausreißer kamen höchstwahrscheinlich dadurch zustande, dass Vogelkot auf den Schachtdeckeln bei Starkregen abgespült wurde und selbst bei vorsichtigen Probenahmen in den Filterschacht gelangen konnte. Aufgrund dessen ist der Median mit einer Keimreduktion von 100 % als realistischer Wert anzusehen.

Anhand dieser Ergebnisse und der Tatsache, dass die geforderten Höchstwerte für die Indikatorbakterien im Badebeckenwassers stabil eingehalten wurden (vgl. *Abb. 11*), kann dem Filterkörper eine hohe Wirksamkeit bei der Beseitigung der hygienischen Belastungen zuerkannt werden.

4.3 Füllwasser und Regenwasser

Bezüglich des Füll- und Regenwassers wurden nur chemische Analysen durchgeführt.

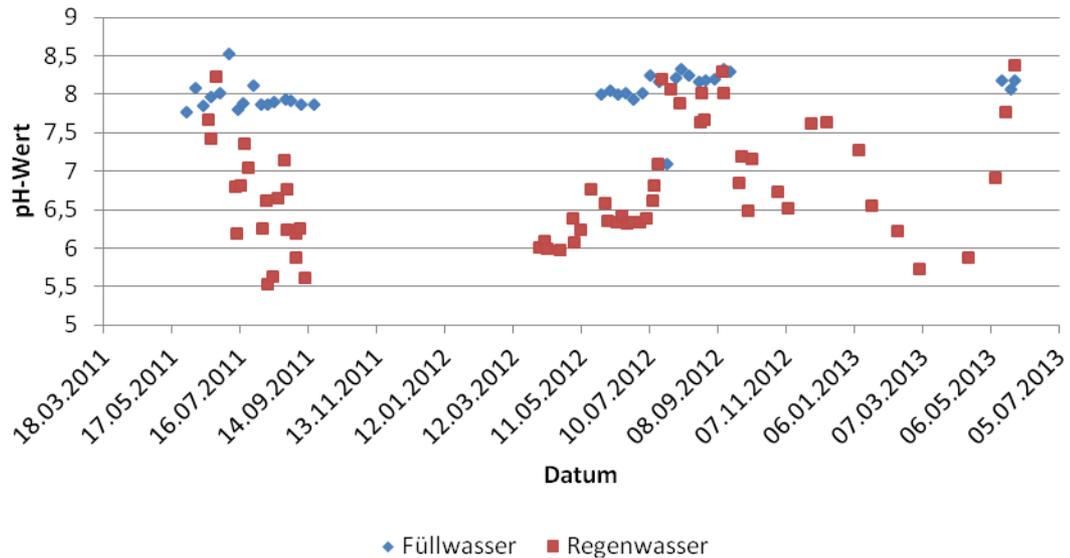


Abb. 22: pH- Werte des Füllwasser und des Regenwassers im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 22* zeigt, dass der **pH- Wert** des Regenwassers im Bereich zwischen 5,5 und 8,4 schwankte. In den niedrigen pH- Bereichen zwischen 5 und 6 könnte der Aspekt des „sauren Regens“ gesehen werden. In den Sommermonaten wurden höhere pH- Werte als in den übrigen Monaten gemessen. Der pH- Wert des Füllwassers lag stabil im Bereich zwischen 7,8 und 8,5 im Jahr 2011 und zwischen 8,0 und 8,3 in 2012.

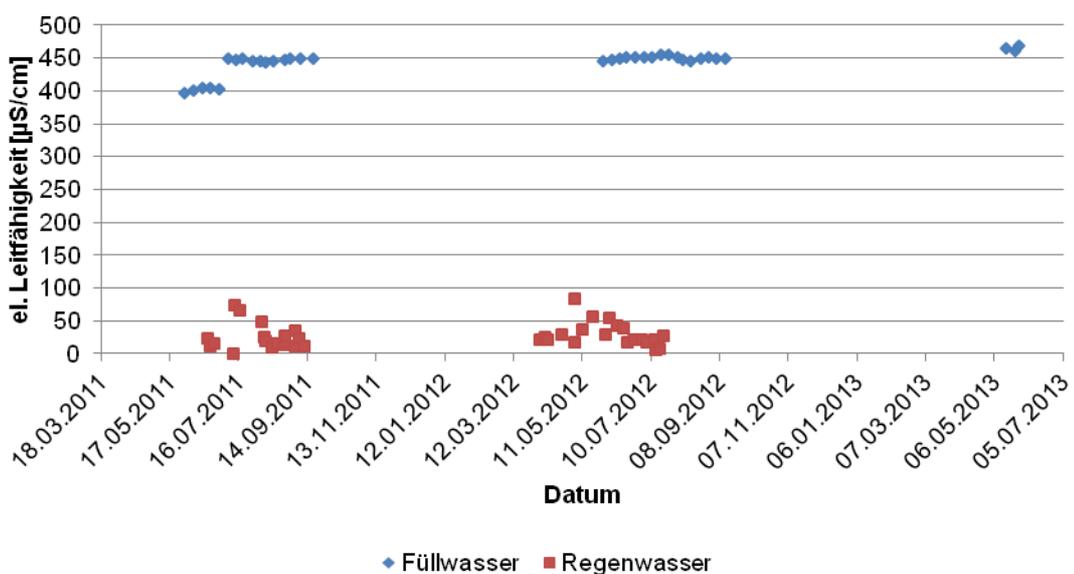


Abb. 23: Elektrische Leitfähigkeit des Füll- und Regenwassers im Beprobungszeitraum

Das Füllwasser war bezüglich der **elektrischen Leitfähigkeit** weitgehend konstant, was im Jahr 2012 mit 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ besonders deutlich wurde (vgl. *Abb. 23*). Der Höchstwert für das Füllwasser von 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ wurde weit unterschritten. Die elektrische Leitfähigkeit des Regenwassers blieb im Untersuchungszeitraum unter 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

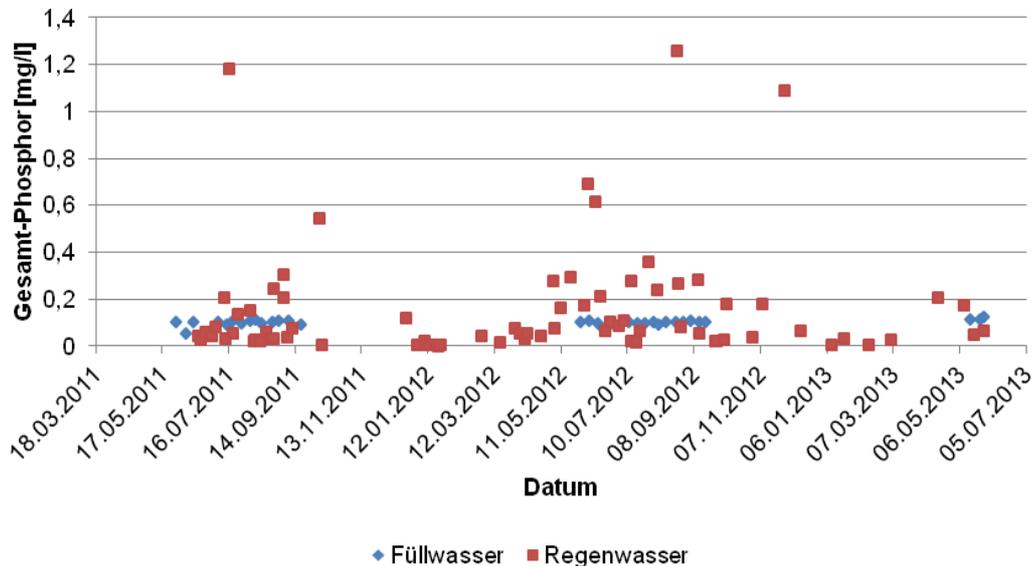


Abb. 24: Gesamt-Phosphor- Gehalt des Füll- und Regenwassers im Beprobungszeitraum

Die **P_{ges}- Konzentration** des Füllwassers lag relativ stabil bei ca. 0,1 mg/l und damit etwa um das 10-fache höher als der Höchstwert, der laut FLL- Richtlinie 2011 im Badebecken einzuhalten war.

Der P_{ges}- Gehalt des Regenwassers schwankte stark und lag in den Sommermonaten vergleichsweise höher als in den restlichen Versuchsmonaten (vgl. *Abb. 24*). Die durchschnittliche Phosphor-Konzentration des Regenwassers lag bei 0,16 mg/l (Median: 0,06 mg/l) und somit 16-mal so hoch wie der festgeschriebene Höchstwert von 0,01 mg/l für das Badewasser. Als Beispiel eines nährstoffreichen Niederschlages gibt *Hoffmann (1972)* einen Phosphorgehalt von 0,995 mg/l an [32]. Durch Niederschläge können größere Mengen Phosphor in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge in das Badewasser eingetragen werden. Das Volumen des Badesees beeinflusst die resultierende Konzentration an P_{ges}. Phosphorhaltige Verbindungen kommen in der Atmosphäre meist als Partikel vor, primär als Blütenstaub (Pollen) und mineralischer Staub [33]. Die Stoffe gelangen mit dem Regen in Oberflächengewässer und können die Eutrophierung stimulieren.

Auch der Wind kann Stäube und organische Materialien wie Blüten im Frühjahr oder Laub im Herbst in das Wasser eintragen. Durch den mikrobiellen Abbau der organischen Stoffe steigt die P- Konzentration des Gewässers [12] .

Die *Abbildung 25* zeigt, dass der **Nitrat-N- und Ammonium-N-** Gehalt des **Regenwassers** im Untersuchungszeitraum unter 2 mg/l schwankte. Der durchschnittliche Nitrat-N- bzw. Ammonium-N- Eintrag in das Badewasser aufgrund von Niederschlägen lag bei 0,66 mg/l (Median: 0,59 mg/l) bzw. 0,541 mg/l (Median: 0,343 mg/l).

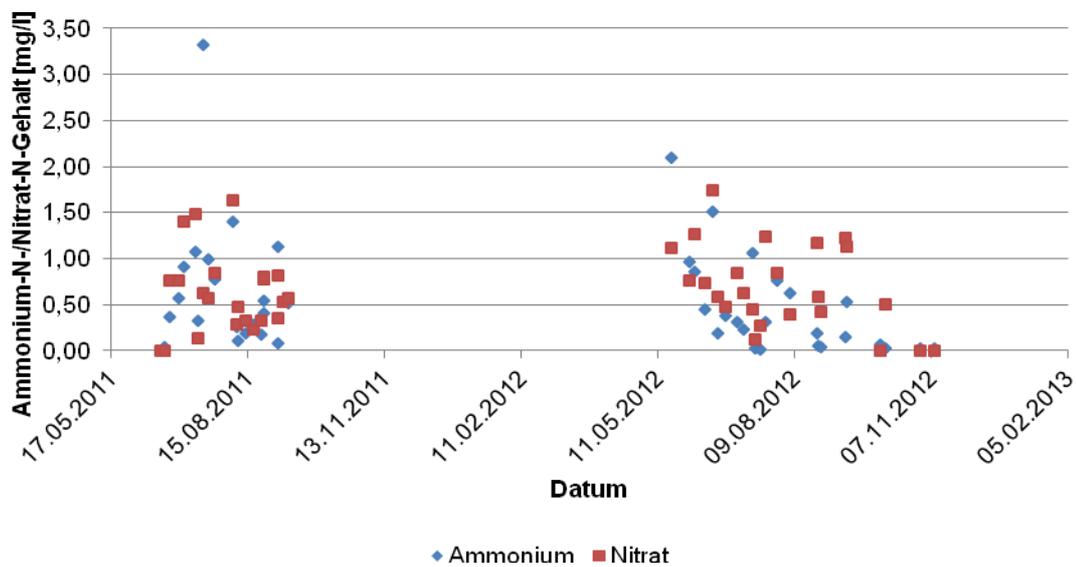


Abb. 25: Ammonium-N- und Nitrat-N- Gehalte des Regenwassers im Beprobungszeitraum

Zusammen mit dem limitierenden Faktor Phosphor können Pflanzennährstoffkonzentrationen und -frachten erreicht werden (vgl. Abschnitt 4.4.2), die eine Algenentwicklung ermöglichen.

Trinkwasser des örtlichen Wasserversorgers diente als **Füllwasser**, das nach der geltenden Trinkwasserverordnung von einem Labor getestet und kontrolliert wurde. Die Ergebnisse der Trinkwasseruntersuchungen (nach Entsäuerung) bestätigten die Ergebnisse für Ammonium- und Nitrat-N (siehe Anhang).

4.4.1 Hydraulische Frachten

Füll- und Regenwassereinträge

Im Folgenden werden die hydraulischen Frachten für Regenwasser und Füllwasser in den Monaten Mai bis September der Jahre 2011 und 2012 betrachtet (vgl. *Abb. 27* und *28*).

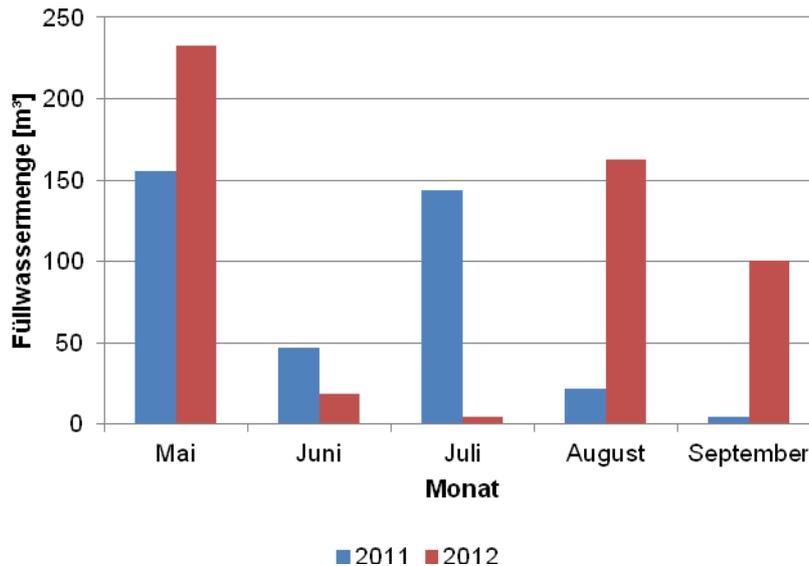


Abb. 27: Füllwasser- Einspeisung in der Badesaison 2011 und 2012

In der Badesaison 2011 und 2012 wurden ca. 373 m³ bzw. 519 m³ Wasser eingespeist. Kurz vor Beginn der Badesaison 2011 und 2012 mussten große Mengen Füllwasser eingefüllt werden, um das festgelegte Wasserniveau zu erreichen (niedriger Wasserstand im Winter: Frostschutz). Die weitere Zugabe von Füllwasser in der Badesaison richtete sich nach dem Verdunstungsverlust und dem Regenwassereintrag. Die Füllwassereinspeisung zeigte, dass an heißen Tagen (kaum Niederschlag), vor allem im Mai 2011 und 2012, Juli 2011, Ende August und Anfang September 2012, teilweise erheblich mehr als 100 m³ Füllwasser nachgefüllt werden musste. Das bestätigen die korrelierenden Niederschlagsmengen in diesem Zeitraum.

In den Monaten Juni und Juli 2012 gab es mit etwa 130-140 l/m² hohe Regenmengen. Im Mai 2011 traten keine Niederschläge auf. Ansonsten lagen die Niederschläge bei 20-40 l/m² pro Monat. Insgesamt gelangten in der Badesaison 2011 ca. 119 m³ Regenwasser in den Naturbadensee. Im Jahr 2012 wurde mit 475 m³ knapp 4-mal so viel Regenwasser eingetragen wie 2011.

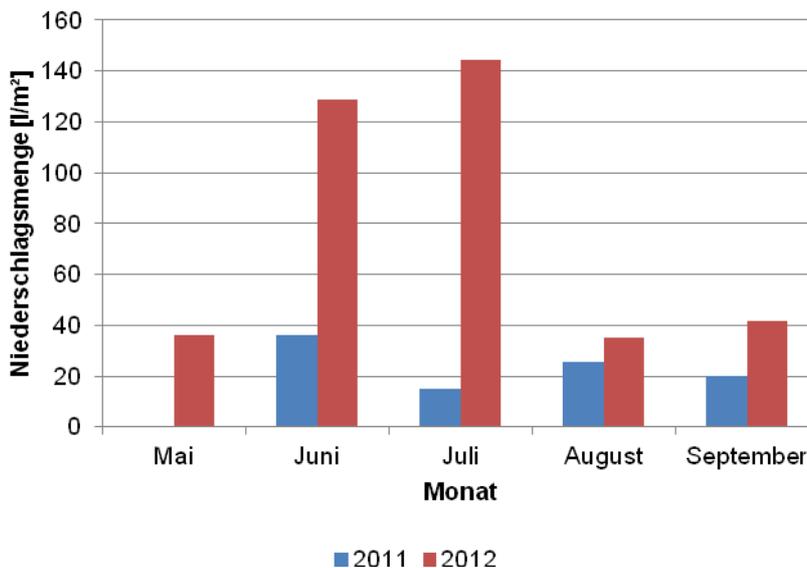


Abb. 28: Niederschlagsmengen der Badesaison 2011 und 2012

Die **hydraulischen Gesamtfrachten** der (Pumpen-)Umwälzung lagen in den ersten beiden Betriebsjahren bei jeweils über 300.000 m³. Den Hauptanteil von über 80% machten dabei die Monate der jeweiligen Badesaison aus (vgl. *Tab. 5*).

Nährstoffkonzentrationen

Phosphor- und Stickstoff-Verbindungen sind sowohl im Regenwasser als auch im Füllwasser enthalten. Die Konzentrationen der Nährstoffe N und P sind als Mittel- und Medianwerte der *Tabelle 4* zu entnehmen.

Tabelle 4: Median und Mittelwert der Ammonium-N-, Nitrat-N- und P_{ges}- Konzentrationen im Füll- und Regenwasser

	Ø Konzentrationen [mg/l]					
	Ammonium-N		Nitrat-N		P _{ges}	
	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Füllwasser	0,004	0,000	3,55	3,71	0,098	0,102
Regenwasser	0,541	0,343	0,66	0,59	0,157	0,064

Bei erhöhter Niederschlagsmenge und Füllwasserzugabe gelangen beträchtliche Frachten an Phosphor und Stickstoff in das System und müssen über den Regenerations- bzw. Aufbereitungsbereich eliminiert werden.

4.4.2 Nährstoffe (Phosphor, Stickstoff)

Bei den Messwerten für P_{ges} - Gehalt, Ammonium-N- und Nitrat-N- Konzentrationen im Regenwasser traten einige „Ausreißer“ auf. Deswegen wurde zur weiteren Betrachtung der in diesem Fall die Realität besser beschreibende Median genutzt. Da es im Füllwasser keine extremen, stark abweichenden Einzelwerte gab, wurde hier der Mittelwert verwendet. Zur Bestimmung der Nährstofffrachten für Regenwasser und Füllwasser wurden die Mittel- bzw. Median-Werte der Ammonium-N- Konzentration und Nitrat-N- Konzentration zu einer resultierenden N- Konzentration zusammengefasst. In den *Abbildungen 29 bis 32* sind die Frachten für N und P in den Jahren 2011 und 2012 gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass die Mengen der Füllwasserzugabe und des Niederschlages mit den Nährstofffrachten an Stickstoff und Phosphor korrelierten.

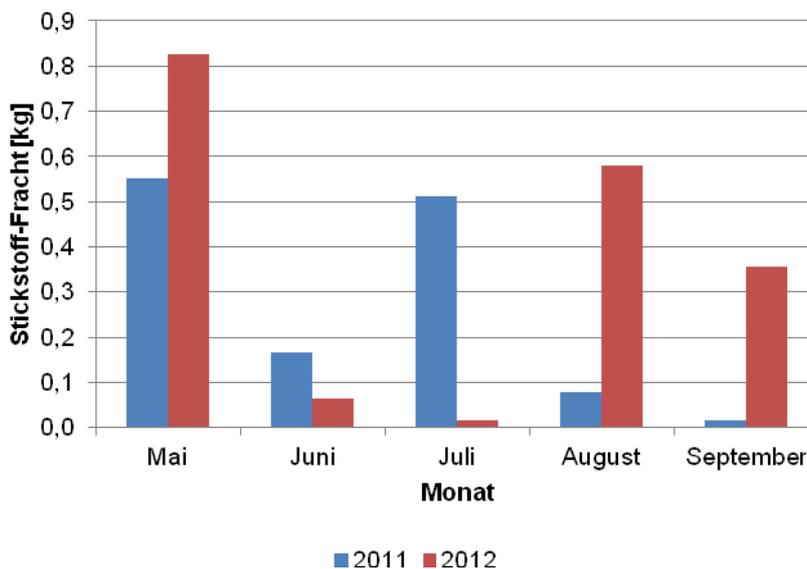


Abb. 29: Stickstoff- Frachten des Füllwassers in der Badesaison 2011 und 2012

In den Jahren 2011 und 2012 gelangten in der Badesaison durch die **Füllwasserzugabe** insgesamt etwa 1,3 kg bzw. 2 kg Stickstoff in das System.

Vor allem im Mai und Juli 2011 sowie im Mai, August und September 2012 wurde ein großer Teil der Stickstoff- Fracht eingetragen. Bedingt durch die hohen Temperaturen im August und September 2012 gelangten knapp 1 kg Stickstoff durch das Füllwasser in den Badeteich. Im September 2011 und im Juni/Juli 2012 waren die Stickstoff- Frachten relativ gering, aufgrund der kühlen Temperaturen und der hohen Niederschlagsmengen (vgl. Abb. 28). Das Füllwasser liefert bei großen Einspeisungsmengen einen enormen Beitrag an Stickstoff.

Die Phosphor- Frachten der Badesaison 2011 und 2012 für das Füllwasser lagen insgesamt bei 0,038 kg bzw. 0,057 kg (vgl. Abb. 30). In den Monaten Mai/Juli 2011 und Mai/August 2012 waren die P_{ges} - Frachten besonders hoch, da mehr Füllwasser eingespeist wurde. Im August/September 2011 und im Juni/Juli 2012 lagen die Frachten teilweise weit unter 0,005 kg.

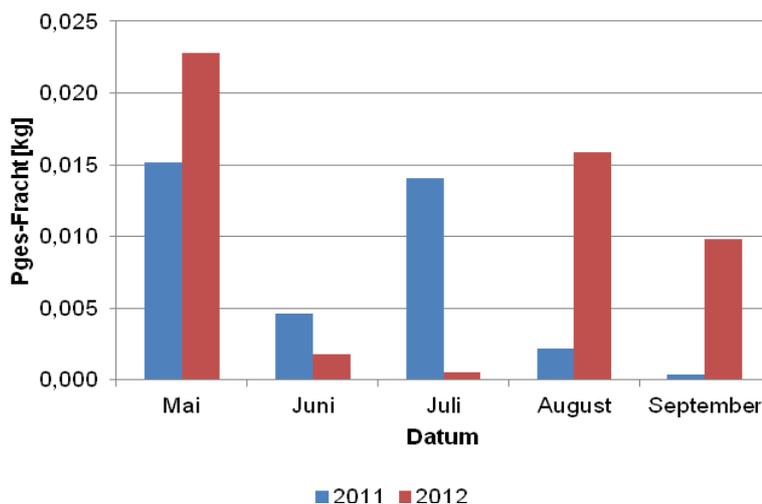


Abb. 30: P_{ges} - Frachten des Füllwassers in der Badesaison 2011 und 2012

Durch die **Niederschläge** in den Monaten Juni und Juli 2012 wurden jeweils mehr als 0,14 kg Stickstoff eingebracht. In den übrigen Monaten lag die N- Fracht bei 0,05 kg oder darunter. Der Stickstoffeintrag durch das Regenwasser ist in der Summe deutlich geringer als durch das Füllwasser (vgl. Abb. 31).

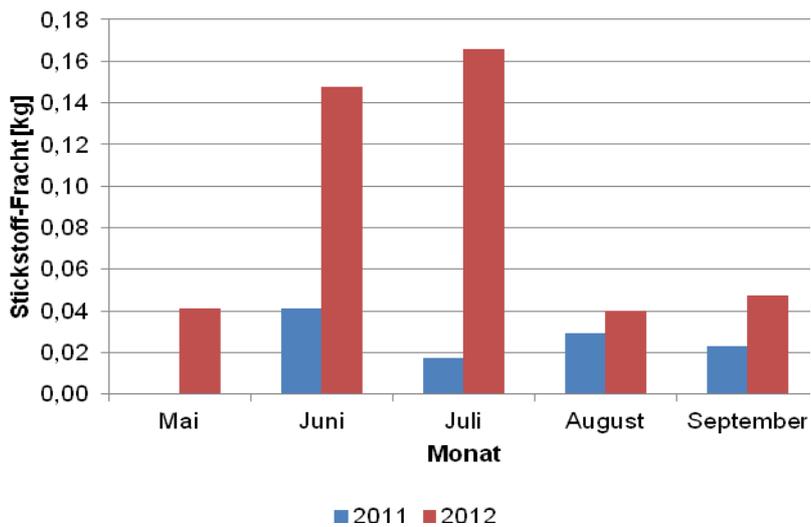


Abb. 31: Stickstoff- Frachten des Regenwassers in der Badesaison 2011 und 2012

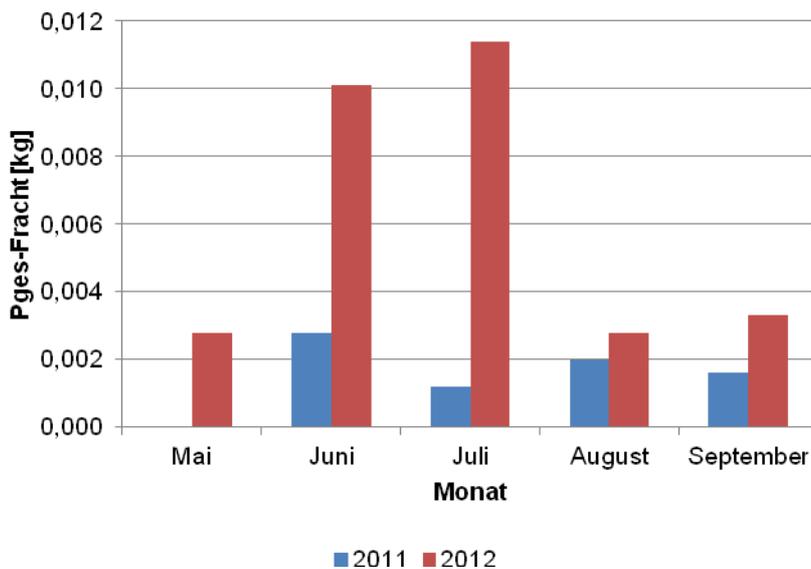


Abb. 32: P_{ges} - Fracht des Regenwassers in der Badesaison 2011 und 2012

Im Juni und Juli 2012 gelangten mit dem Regenwasser jeweils mehr als 10 g Phosphor pro Monat in das Wasser des Naturbadesees (vgl. Abb. 32). Laut *Spieker (2001)* werden pro Hektar und Jahr durchschnittlich 0,3 kg Phosphor aus der Atmosphäre in Gewässer eingebracht [34]. Schon Phosphor- Konzentrationen ab 0,035 mg/l reichen in natürlichen Gewässern zum intensiven Algen- bzw. Cyanobakterienwachstum aus.

Durch 1 mg/l Phosphor können 1 kg Algenbiomasse in einem Gewässer mit einem Volumen von 1000 Liter entstehen [30]. Bei P_{ges} - Konzentrationen über 0,01 mg/l kann intensives Algenwachstum stattfinden.

Die Niederschläge liefern insgesamt, neben dem Eintrag durch die Badenden und der Hintergrundbelastung durch Wasservögel und Kleintiere einen weiteren Nährstoffeintrag in das System. Bei ca. 600 mm Niederschlag pro Jahr und einem medianen P-Gehalt von 0,064 mg/l am „Eisenberg“ bedeuten dies im Mittel etwa 50 g jährlichen Phosphoreintrag in den Badesee.

Der Phosphor- Eintrag durch die Badenden (Zählung) wurde im Rahmen des Forschungsprojektes nicht erfasst, kann aber aus den ermittelten Frachten sowie der über den Filter reduzierten Phosphorfracht abgeschätzt werden.

Tabelle 5: *Hydraulische und Phosphor- Frachten innerhalb der ersten Betriebsjahre sowie der Badesaison 2011 und 2012*

Zeitraum	Mai - Sept. 2011	Mai - Sept. 2012	1. Jahr Mai'11 - Apr.'12	2. Jahr Dez.'11 - Nov.'12
1 hydraulisch [m ³]	253.197	254.044	309.430	302.023
2 Phosphor [kg]	0,759	0,762	0,928	0,906

Die Gesamt-P- Frachten für die ersten beiden Betriebsjahre sowie die jeweilige Badesaison, ermittelt aus den Pumpenlaufzeiten 2011 und 2012, sind in der *Tabelle 5* gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass knapp 1 kg Phosphor über den Aufbereitungsfilter pro Jahr aus dem Badewasser entfernt wurden. Innerhalb der Badesaisons von jeweils Mai – September wurden mit 81,8% bzw. 84,1% die Hauptanteile an Gesamt- P eliminiert.

Der P- Anteil der „geernteten“ Algenbiomasse wurde nicht berücksichtigt. Da es Ende 2012 zu einem technischen Ausfall der Datenerfassungssysteme kam, mussten die (vollen) Betriebsjahre 2011/12 und 2012/13 überlappend betrachtet werden.

4.4.3 „Tonnenversuche“

Innerhalb der Badesaison 2013 wurden am Naturbadesees Kirchheim an drei zeitlich versetzten Versuchstagen insgesamt 34 Badegäste im Rahmen der als „Tonnenversuche“ bezeichneten Untersuchungen auf „ihren“ Keim- und Nährstoffeintrag hin „untersucht“. Dabei ging es um die Fragestellung, welcher konkrete Eintrag von *E. coli* und Phosphor ergibt sich bei einer einmaligen Badewassernutzung. Die Untersuchungen erfolgten in Anlehnung an Erhebungen durch *Scholz et al.* [42]. Hierzu wurden handelsübliche Regenwassertonnen mit einem Volumen von 310 l mit 200 l Badewasser gefüllt, dessen Keim- und P- Gehalt vor der jeweiligen Nutzung bestimmt wurde (Probenahme). Die Personen (maximal 2 – 3 nacheinander) stiegen für ein Zeitminimum von mindestens 2 Minuten (bis maximal 15 Minuten) in die Tonne, um dort möglichst viel Wasser zu bewegen, unterzutauchen und damit ein „Schwimmen“ zu simulieren.

Die teilnehmenden Personen sollten (ausschließlich) ungeduscht an dem Experiment mitwirken. Unter den freiwilligen Versuchsteilnehmern waren 7 Kinder bis zu einem Alter von 10 Jahren, 10 Kinder und Jugendliche von 11 bis 17 Jahren, 12 Erwachsene ab 18 Jahre (bis 50 Jahre) und 5 Erwachsene älter 50 Jahre. An den Versuchen beteiligten sich 29 männliche und (lediglich) 5 weibliche „freiwillige“ Probanden. Pro „Badegast“ ergab sich ein Eintrag von durchschnittlich 150.000 KBE *E. coli* und 6,5 mg Phosphor. Bei *E. coli* schwankten die Zahlen von 0 bis 900.000 KBE. Die P- Gehalte lagen zwischen 0,2 und 70,5 mg.

In den Untersuchungen wurde deutlich, dass der Eintrag von Fäkalbakterien und Phosphor durch Badegäste die Wasserqualität entscheidend beeinflussen kann. Mit der ungeduschten Variante wurde bewusst auf den „almost worst case“ abgestellt, da das 100%-ige Duschen vor Nutzung der Bäder niemals sichergestellt werden kann. Der „worst case“ wäre ein Urinieren beim Baden und ist in Einzelfällen ebenfalls immer gegeben. Bei den hier vorgestellten „Tonnenversuchen“ war dies nicht der Fall. In knapp 80% der Proben war der nach FLL- Richtlinie geforderte Höchstwert unterschritten. *E. coli* ist im Badewasser für eine gewisse Zeit überlebensfähig [41]. Andererseits findet durch das Bakterio- und Zooplankton eine erhebliche Reduzierung der Keimgehalte in Naturbädern statt [13]. Ein Abduschen ist dennoch aus Sicht des vorausschauenden Schutzes der Badegäste notwendig. *Schulz* [43] hat in einer Freilandstudie einen mittleren P- Eintrag pro Badegast und –tag von 94 mg ermittelt. Unter der Berücksichtigung des Urinierens einzelner Badegäste kann dieser Wert gegenüber den hier dargestellten 6,5 mg durchaus realistisch sein. Die von *Scholz et al.* [42] ermittelten 0,19 mg Phosphor pro Badegast erscheinen zu niedrig, wohingegen die Keimzahlen von 120.000 *E. coli* die im Forschungsprojekt gefundenen 150.000 KBE stützen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Naturnahe Schwimm- und Badeteiche sind künstlich angelegte Freibäder mit einer biologischen Wasseraufbereitung. Durch den Verzicht auf Desinfektionsmittel stellt ein Naturbadesee eine umweltbewusste und interessante Erholungs- und Sportmöglichkeit dar. Die eingebrachten nährstoffseitigen und hygienischen Belastungen müssen zuverlässig eliminiert werden, um eine Gesundheitsgefährdung des Badenden auszuschließen. Dem Filterkörper kommt damit eine elementare Bedeutung zu.

Ausgehend von der Zielstellung, die Hygieneparameter und Nährstoffeinträge in einem Naturbadesees zu untersuchen, wurden die überwachten physikalischen, chemischen und hygienisch-mikrobiologischen Parameter im Rahmen dieser Arbeit dargestellt und bewertet. Wichtig war bei der Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse die Einhaltung der geforderten Höchstwerte nach der FLL-Richtlinie 2011. Besonderes Augenmerk wurde auf den Eintrag und die Eliminierung des Nährstoffes Phosphor gelegt. Bereits bei geringen Höchstwertüberschreitungen können Algen und Cyanobakterien einen enormen Wachstumsschub erfahren. Phosphor wird größtenteils über Badegäste, Wasservögel und Kleintiere in das Badewasser eingetragen. Erstmals wurde mit dieser Arbeit der Nährstoffeintrag (P/N) des Niederschlages und des Füllwassers im Zusammenhang mit Naturbädern näher untersucht.

Die Einhaltung der Anforderungen an die Hygieneparameter war der entscheidende gesundheitlich relevante Aspekt zur Bewertung des Badesees Kirchheim. Hierfür wurde die Leistung der Keimeliminierung des Filterkörpers untersucht und ausgewertet. Es ist zu beachten, dass auch der UV- Anteil des Sonnenlichts einen Beitrag zur Entkeimung des Wassers leistet [14]. Zu welchen Anteilen die Keimeliminierung durch das UV-Licht und durch den Filterkörper erreicht wird, wurde noch nicht näher untersucht.

Die Anlage wies bezüglich der nährstofflichen und hygienischen Belastungen eine hohe Betriebsstabilität und Sicherheit auf. Die geforderten Höchstwerte der Nährstoffe Phosphor, Nitrat-N und Ammonium-N sowie der Indikatorbakterien *E.coli* und *Enterokokken* wurden nahezu ausnahmslos eingehalten. *Pseudomonas aeruginosa* trat nicht auf. Insbesondere im zweiten Jahr (2012) konnte eine hohe Stabilität der relevanten Parameter erreicht werden.

Nach der Inbetriebnahme der Anlage 2011 brauchten der Biofilm des Filterkörpers und die Wasserpflanzen einige Zeit um sich etablieren zu können (Einfahrphase). Im oligotrophen System Badeteich bauen sich Biofilme langsamer auf und bestehen zu großen Anteilen aus autotrophen Bakterien [31].

Durch weitere Untersuchungen im Jahr 2013 ließ sich die Tendenz absichern, dass die Effizienz und Reinigungsleistung des Filterkörpers stabil ist.

Mit dem jährlichen Füll- und Niederschlagswasser können Phosphorfrachten von bis zu 50 g in den Schwimmteich eingetragen werden. In den zwei niederschlagsreichen Monaten Juni und Juli 2012 gelangten jeweils über 10 g Gesamt-Phosphor in den Badesee. Desweiteren ist ein Phosphor-Eintrag durch die Luft (Windbewegung) immer gegeben. Dieser Aspekt wurde aber in der Arbeit nicht weiter betrachtet.

Die Kalkulationen zu den Gesamtphosphor-Frachten zeigten, dass knapp 1 kg Phosphor über den Aufbereitungsfilter pro Jahr aus dem Badewasser entfernt wurden. Die hydraulischen Gesamtrachten lagen in den ersten Betriebsjahren bei jeweils über 300.000 m³. Den Hauptanteil von über 80% machten die Monate Mai bis September der jeweiligen Badesaison aus.

Die Probenahme außerhalb der Badesaison bzw. bei ungünstigen Wetterbedingungen (z.B. kühle Temperaturen) bestätigte eine nahezu immer gegebene Hintergrundbelastung. Die Hintergrundbelastungen durch den Regen- und Lufteintrag sowie die hygienischen und nährstoffseitigen Einträge durch den „Tierbesuch“ können nicht vermieden werden. Bei der Bestimmung der Hygieneparameter wird nicht auf die „tierische“ oder „menschliche“ Herkunft der Keime differenziert.

In den „Tonnenversuchen“ ergaben sich bei einmaliger Badewassernutzung Einträge von durchschnittlich 6,5 mg Phosphor und $1,5 \times 10^5$ KBE *E. coli* pro Badegast.

Freibäder mit biologischer Wasseraufbereitung können eine sichere Alternative zu den konventionellen, mit Chlor desinfizierten Bädern sein. Immerhin leiten sich von der Chlorung auch unterschiedliche Nebenwirkungen ab [35].

Literaturverzeichnis

- [1]. **Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL).** *Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm- und Badeteiche).* Bonn : Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), 2011.
- [2]. **Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau.** *Fachwissenschaftliche Begleitung des Modellprojektes "Umbau von konventionellen Freibädern in ein Naturbad" in Schöllkrippen, Stamsried und Nordhalben.* [PDF] Veitshöchheim : s.n., 2008.
- [3]. **Bundesministerium der Justiz.** www.gesetze-im-internet.de. [Online] [Zitat vom: 30. 5 2013.]
- [4]. **Hoffmann, Sabine.** Die gesetzliche Situation zur Wasserqualität in Schwimmteichen. *Stadt + Grün - Das Gartenamt.* 2003, 09.
- [5]. **Umweltbundesamt.** *Hygienische Anforderungen an Kleinbadeteiche (künstliche Schwimm- und Badeteichanlagen).* [PDF] 2003.
- [6]. **Schulz, Liselotte.** Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste. s.l. : Zentralblatt der Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene, 1981. Bd. 173.
- [7]. **Umweltbundesamt.** *Hygieneanforderungen an Bäder und deren Überwachung.* [PDF] 9. 2006.
- [8]. **Baumhauer, Jörg und Schmidt, Carsten.** *Schwimmteichbau.* s.l. : Patzer-Verlag, Berlin-Hannover, 2008.
- [9]. **Kulle, Peter.** Pathogene Keime und Infektionsrisiko. *Der Schwimmteich.* 2005, 1.
- [10]. **Kulle, Peter.** Pseudomonas aeruginosa - der Problemkeim. *Der Schwimmteich.* 2005, 3.
- [11]. **Nowicki, Stefan.** Algenplagen - Ursachen, Bekämpfung und Vermeidung. *Der Schwimmteich.* 2004, 3.
- [12]. **Schäfer, Robert.** Phosphordynamik in naturnahen Schwimm- und Badeteichen. Weimar : s.n., 2005.
- [13]. **Eydeler, Inga; Spieker, Jürgen; KLS Gewässerschutz Hamburg.** *Keimelimination durch Zooplankton.* [PDF] Hamburg : s.n., 2010.
- [14]. **Mahabadi, Mehdi und Rohlfing, Ines Maria.** *Schwimm- und Badeteichanlagen - Planungs- und Baugrundsätze.* s.l. : Verlag Eugen Ulmer, 2008.

- [15]. **Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL)**. *Empfehlungen für Planung, Bau, Pflege und Betrieb von Pflanzenkläranlagen (naturnahe Klärverfahren mit Pflanzenbewuchs)*. Bonn : Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), 2007.
- [16]. **Rump, Hans Hermann und Krist, Helmut**. *Laborhandbuch für die Untersuchung von Wasser, Abwasser und Boden*. s.l. : VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1992.
- [17]. **DIN 38404 (Teil 4)**. *Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen - Bestimmung der Temperatur*. 1976.
- [18]. **Kulle, Peter**. *Untersuchungstagebuch Naturbadesee Kirchheim 2011-2013*.
- [19]. **Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH (WTW)**. *Messtechnik für Labor & Umwelt*. [PDF] 2012.
- [20]. **DIN 19261**. *pH-Messung - Messverfahren mit Verwendung potentiometrischer Zellen - Begriffe*. 2005.
- [21]. **DIN EN 27888**. *Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit*. 1993.
- [22]. **Wissenschaftlich- Technische Werkstätten GmbH (WTW)**. *Bedienungsanleitung Portables Leitfähigkeits-Messgerät Cond 197i*. 2005.
- [23]. **Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH (WTW)**. *Leitfähigkeitsmessung - Konduktometer - Die elektrische Leitfähigkeit*. [PDF]
- [24]. **Quentin, Karl-Ernst**. *Trinkwasser - Untersuchung und Beurteilung von Trink- und Schwimmbadwasser*. s.l. : Springer-Verlag, 1988.
- [25]. **MFPA Arbeitsanweisung QM 33 V 029**. *Bestimmung von Phosphor (photometrisch)*. Weimar : s.n., 1995.
- [26]. **DIN 38406 (Teil 5)**. *Kationen - Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs*. 1983.
- [27]. **MFPA Arbeitsanweisung QM 33 V 024**. *Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs*. 1995.
- [28]. **Dr. Möller & Schmelz GmbH**. *Gebrauchsanweisung - Nährkartonscheiben*. Göttingen : s.n., 2011.
- [29]. **Flohre, Sebastian und Brunkhorst, Mario**. *Rechnergestützte Simulation einer Badesaison in Naturfreibädern*. *Stadt + Grün - Das Gartenamt*. 2004, 09.
- [30]. **Habeck, Doris**. *Sommerzeit ist Algenzeit - das muss nicht sein !*. *Schwimmteich & Naturpool*. 2012, 03.
- [31]. **Kulle, Peter**. *(Eigene Erfahrungen aus verschiedenen Projekten)*.
- [32]. **Hoffmann, J**. *Ursachen und Folgen der Eutrophierung von Gewässern*. Gießen : Ergebnisse landwirtschaftlicher Forschung an der Justus-Liebig-Universität, 1972.

- [33]. **Nehring, D. und Wilde, A.** Untersuchungen über den atmosphärischen Nährstoffeintrag in die Ostsee. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*. 1982, 10.
- [34]. **Spieker, Jürgen.** Ökologische Grundlagen stehender Badegewässer. *Archiv des Badewesens*. 2001, 3.
- [35]. **Kim, H., Shim, J. und Lee, S.** Formation of disinfection by-products in chlorinated swimming pool water. *Chemosphere*. 2002, 46.
- [36]. **Reemtsma, Thorsten und Jekel, Martin.** *Organic Pollutants in the Water Cycle*. Weinheim : WILEY-VCH Verlag, 2006.
- [37]. **Polyplan GmbH Ingenieurbüro für Energie- und Umwelttechnik.** Ilse-ter Meer Weg 7, 30449 Hannover : s.n., 2013.
- [38]. **Zeller GmbH.** *Bedienungsanleitung - Taschengerät Oxi 315i*. [PDF] Hohenems Oberklien : s.n., 2004.
- [39]. **DIN EN ISO 5814.** *Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des gelösten Sauerstoffs - Elektrochemisches Verfahren* . 2013.
- [40]. **Kulle, Peter.** ... und alles Wasser im Strom wurde in Blut verwandelt! *Der Schwimmteich*. 2005, 2.
- [41]. **Heinemeyer, E. August.** Vom Kleinbadeteich bis zur Nordsee. Internat. Kongress für naturnahe Badegewässer, 19. – 21.09.2001, Geisenheim
- [42]. **Scholz, I., K. Grüne, U. Brüdern, H. Frehse, S. Bruns, J. Spieker, S. Kunst.** Bestimmung des Nährstoff- und Keimeintrags durch Badegäste in kommunalen Schwimm- und Badeteichanlagen (*unveröffentlicht*).
- [43]. **Schulz, L.** Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste. *Zbl. Bakt. Hyg. I Abt. Orig. B* 173, S. 528 – 548, 1981.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Aqua dest.	destilliertes Wasser
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
ca.	circa
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DIN	Deutsche Industrie-Norm
el. Leitfähigkeit	elektrische Leitfähigkeit
EN	Europäische Norm
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Land- schaftsbau
ggf.	gegebenenfalls
IfSG	Infektionsschutzgesetz
ISO	International Standardizing Organization
KBE	Koloniebildende Einheit
N	Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium-Ion
NH ₄ OH	Ammoniumhydroxid
NN	Normalnull
P	Phosphor
P _{ges}	Gesamt- Phosphor
P. aeruginosa	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>

Tab.	Tabelle
Trinkwv.	Trinkwasserverordnung
UV	Ultraviolett
v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VIS	Visible
WTW	Wissenschaftlich Technische Werkstätten
z. B.	zum Beispiel

Anhang 02:

Tabelle 6: *Besondere Ereignisse und Auffälligkeiten am Badensee im Beprobungszeitraum*

Datum	Ereignis
09.06.11	Algen in der Flachwasserzone, Vogelkot auf Schachtdeckeln, Beobachtung von Bachstelze
29.06.11	erste kompakte Grünalgen-Kolonien in der Flachwasserzone
07.07.11	grüne Algenkolonien in der Flachwasserzone, Vogelkot auf Schachtdeckeln
14.07.11	viele Algenkolonien in der Flachwasserzone, Pfützen auf 2 von 3 Schachtdeckeln
15.08.11	mehrere kleine Algenkolonien auf dem Grund des Badebeckens
20.08.11	Algenkolonien aus Flachwasserzone und Badebecken heraus gesammelt
14.05.12	Grünalgen in Flachwasserzone
23.05.12	starke Algenbildung in der Flachwasserzone, auf der Wasseroberfläche des Flachwassers : Pollen/Samen/Insekten, Wildenten gesichtet
29.05.12	wenige Algen aus dem Badeteich entfernt
13.06.12	abgesunkene Algenkolonien im Flachwasser, einige wenige junge Kolonien auf der Oberfläche
26.06.12	Algenwachstum im Badebecken (kleine „Nester“)
04.07.12	in Flachwasserzone starke Algenbildung und –vermehrung
11.07.12	Entfernung von viel Algenmaterial aus der Flachwasserzone
19.07.12	starkes Algenwachstum in der Flachwasserzone
26.07.12	Probenahme während intensiver Badennutzung, massive Algenentwicklung in der Flachwasserzone, sehr warm
03.08.12	Grünalgenentfernung aus dem Badebeckenwasser und dem Flachwasser
07.08.12	Algen in Flachwasserzone (teilweise abgesunken)

14.08.12	starke Algenentwicklung in der Flachwasserzone, Einspeisung von viel Füllwasser, warme Tage, kein Regen
23.08.12	Zuckmückenlarven in der Flachwasserzone, intensiver Vogelbesuch, Vogelkot auf Schachtdeckeln
29.08.12	auffällig starker Rückgang der Algen, starker Rückgang der Zuckmückenlarven
05.09.12	starker Rückgang der Algen, intensiver Vogelbesuch
13.09.12	nach Regen neuer Algen- Wachstumsschub (zahlreiche neue Algenkolonien)
19.09.12	starke Algenentwicklung um den Füllstein in der Flachwasserzone und erste sichtbare junge Kolonien an der Wasseroberfläche des badebeckens
01.10.12	starke Algenentwicklung im Flachwasser (vor allem um den Füllstein)
26.10.12	Algen waren besonders um den Füllstein und die Probeentnahmeschächte vertreten und dort mit Wasserpflanzen vergesellschaftet
17.04.13	Algenvorkommen vor allem in der Flachwasserzone, einzelne Kolonien im Badebecken (auf dem Grund/Sediment)
16.05.13	Pollenflug (Pollen auf der Wasseroberfläche der Flachwasserzone), beginnend stärker Algenentwicklung im Flachwasser
28.05.13	einige größere Kolonien im Badebecken (seit Saisonbeginn etwas gewachsen; Ernte notwendig), in der Flachwasserzone stärkere Algenentwicklung
03.06.13	starke Algenentwicklung in der Flachwasserzone
13.06.13	durch Erwärmung wieder stärkeres Wachstum von Algen im Badebecken, starke Algenentwicklung in der Flachwasserzone
20.06.13	intensive Algenernte
28.06.13	nach Ernte waren Algen im Badebecken sehr gut beräumt

Anhang 03: *Umrechnung der geforderten Höchstwerte für Ammonium und Nitrat in Ammonium- N und Nitrat- N*

geforderte Höchstwerte:

<u>Badebecken:</u>	Ammonium (NH ₄ ⁺)	= 0,3 mg/l
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	= 30 mg/l
<u>Füllwasser:</u>	Ammonium (NH ₄ ⁺)	= 0,5 mg/l
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	= 50 mg/l

molare Masse (M):

M (NH ₄ ⁺)	= 14,007 g/mol + 4 * 1,008 g/mol	= 18,039 g/mol
M (NO ₃ ⁻)	= 14,007 g/mol + 3 * 15,999 g/mol	= 62,004 g/mol

Anteil von Stickstoff an der Gesamtverbindung:

Ammonium-N:	14,007/18,039
Nitrat-N:	14,007/62,004

umgerechnete geforderte Höchstwerte:

Badebecken:

Ammonium-N	= 14,007/18,039 * 0,3 mg/l	= 0,2 mg/l
Nitrat-N	= 14,007/62,004 * 30 mg/l	= 6,8 mg/l

Füllwasser:

Ammonium-N	= 14,007/18,039 * 0,5 mg/l	= 0,4 mg/l
Nitrat-N	= 14,007/62,004 * 50 mg/l	= 38,8 mg/l



Untersuchung der Nährstoffeinträge, Hygieneparameter und des Energiekonzeptes für ein Naturbad am Beispiel des Naturbadesees im Feriendorf Eisenberg „Günter Richta“ in Kirchheim

Bericht

vorgelegt bei der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt
(DBU)
Osnabrück

Projektleitung: Landeshauptstadt Hannover
FB Jugend und Familie

Abteilungsleiter:

Dipl.- Ing. J. Müller
MFPA Weimar
Abteilung Chemie und Umwelt
Coudraystrasse 9
99423 Weimar

Bearbeiter:

Dr. E.- Peter Kulle

Weimar, 30.10.2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Aufgabenstellung.....	1
3	Material und Methoden	2
3.1	Naturbadesee Eisenberg „Günter Richta“ in Kirchheim	2
3.2	Probenahme	4
3.3	Physikalische Parameter.....	5
3.3.1	Wassertemperatur.....	5
3.3.2	Sichttiefe.....	5
3.4	Chemische Parameter.....	5
3.4.1	pH-Wert	6
3.4.2	Elektrische Leitfähigkeit.....	6
3.4.3	Redoxspannung	6
3.4.4	Gesamt-Phosphor	6
3.4.5	Ammonium-Stickstoff	7
3.4.6	Nitrat-Stickstoff	7
3.5	Hygienisch-mikrobiologische Parameter	7
3.5.1	<i>Escherichia coli</i>	7
3.5.2	Enterokokken	7
3.5.3	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8
3.6	Zusammenfassung.....	8
4	Ergebnisse und Auswertung.....	9
4.1	Badebecken	10
4.1.1	Physikalische Parameter.....	10
4.1.2	Chemische Parameter.....	11
4.1.3	Hygienisch-mikrobiologische Parameter.....	15
4.2	Flachwasser und Filter	16
4.2.1	Physikalische Parameter.....	16
4.2.2	Chemische Parameter.....	16
4.2.3	Hygienisch-mikrobiologische Parameter.....	21
4.3	Füllwasser und Regenwasser	24
4.4	Frachtbetrachtung	27
4.4.1	Hydraulische Frachten (Füllwasser, Regenwasser)	28
4.4.2	Nährstoffe (Phosphor, Stickstoff)	30
4.4.3	"Tonnenversuche"	34
5	Zusammenfassung und Ausblick	35

Literaturverzeichnis I

Abkürzungsverzeichnis IV

Anhang..... VI

1 Einleitung

Erholung und Freizeitgestaltung in und mit dem Element Wasser besitzen in unserer heutigen Gesellschaft einen hohen Stellenwert. Naturnahe Schwimm- und Badeteichanlagen mit biologischer Wasseraufbereitung stellen eine umweltbewusste und chlorfreie Alternative zum herkömmlichen Schwimmbad dar. Schwimm- und Badeteiche sind der Natur nachempfundene Ökosysteme, bei denen die Selbstreinigungsfähigkeit eines Gewässers gezielt ausgenutzt wird. Die Wasseraufbereitung funktioniert vollbiologisch. Vor allem der Badende selbst bringt Verschmutzungen ein, die zu einem beträchtlichen Algenwachstum führen können und so dem Wasser einen unästhetischen Charakter verleihen. Zu hygienischen und gesundheitlichen Problemen kann es bei dem Vorhandensein von *Cyanobakterien* und pathogenen Keimen kommen. Zum Schutz des Badenden gelten deshalb in öffentlichen Anlagen gewisse Anforderungen an die Wasserqualität. Es werden stoffliche Parameter, wie Phosphor- und Nitratgehalt, physikalische Parameter, wie Sauerstoffsättigung und Sichttiefe und hygienisch-mikrobiologische Parameter in Form von Indikatorkeimen erfasst. Mit den Empfehlungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL Bonn) 2003 und den daraus weiterentwickelten Richtlinien (2011) ein allgemeingültiges Regelwerk für Bau, Planung, Instandhaltung und Betrieb solcher Schwimm- und Badeteichanlagen geschaffen.

2 Aufgabenstellung

Im Rahmen des mehrjährigen Forschungsprojekts sollten die Nährstoffeinträge und Hygieneparameter eines Freibades mit biologischer Wasseraufbereitung am Beispiel des Naturbadesees im Feriendorf Eisenberg „*Günter Richta*“ ermittelt werden. Besonderes Augenmerk galt hierbei den Einträgen von Nährstoffen und Keimen (*E. coli*) durch die Badenden („Tonnenversuche“), über Regenereignisse und das Füllwasser, sowie deren Eliminierung im Filter. Die Wirksamkeit der Wasseraufbereitung des Filterkörpers sollte anhand der zeitlichen Nährstoff- und Keimbelastung des Wassers in den Prozessstufen erfasst und hinsichtlich der Reinigungsleistung und Betriebsstabilität im Rahmen einer Stoffbilanz bewertet werden.

3 Material und Methoden

Hinsichtlich der Erfassung und Überwachung der relevanten chemischen und Hygiene-Parameter *Pseudomonas aeruginosa*, *E.coli*, Enterokokken, Sichttiefe und Gesamt-Phosphor liefen im Jahre 2011 Paralleluntersuchungen eines hessischen Labors im Auftrag der Gesundheitsbehörde Bad Hersfeld.

3.1 Naturbadesee Eisenberg „Günter Richta“ in Kirchheim

Der in den Jahren 2010/2011 von der Firma Polyplan GmbH errichtete Naturbadesee am Eisenberg in Kirchheim liegt ca. 550 m über NN in der Berglandschaft des hessischen Knüllgebirges. Hier betreibt die Stadt Hannover das Kinderferiendorf „Günter Richta“. Das Feriendorf ermöglicht insbesondere auch Kindern und Jugendlichen aus sozial schwachen Familien Erholung und Entspannung. So wird es von Kindergärten, Schulklassen und auch Sportvereinen gern genutzt (vgl. *Abb. 3*).

Der Schwimm- und Badeteich besteht aus einer Nutzwasserfläche von 855 m² (Volumen: 556 m³) und einem Regenerationsbereich von 375 m² (Volumen: 244 m³). Die Nutzwasserzone ist als Nichtschwimmerbereich mit einer maximalen Tiefe von 1,20 m ausgestattet. Der Badebereich ist nierenförmig angelegt und läuft zum Strandbereich flach aus. Es existieren zwei separate Strandzugänge, welche durch einen großen Holzsteg voneinander getrennt sind (vgl. *Abb. 1*). In der Mitte des Aufbereitungsbereiches befindet sich ein Quellstein, aus dem das Füllwasser der kommunalen Trinkwasserversorgung eingespeist wird. Drei Skimmer im Regenerationsbereich sorgen für eine zuverlässige Absaugung von Oberflächenwasserverschmutzungen (vgl. *Abb. 1* und *Abb. 2*).

Der Aufbereitungsbereich befindet sich im Becken des Badebereiches, man spricht daher von einem Einkammer- System. Beide Bereiche sind durch eine Trennwand voneinander getrennt. Das abgebadete Wasser strömt an drei abgesenkten Überlaufkanten über die Trennwand in den Regenerationsbereich. Nach der Passage des Filterkörpers wird das aufbereitete Wasser zurück in den Badebereich transportiert. Als Filterkörper dient ein submerser Bodenfilter, der partiell mit submersen und emersen Hydrophyten bewachsen ist.



Abb.1: *Badebecken mit Holzsteg, Juli 2011*



Abb. 2: *Regenerationsbereich mit 3 Skimmern und Quellstein, August 2012*

Das Naturbad ist eine öffentliche, nicht kostenpflichtige Anlage, bei der die Kontrolle der Besucherzahl aus betriebstechnischen Gründen nicht erfolgen kann.

Der Entwurfsplan des Badesees ist dem **Anhang 01** zu entnehmen.



Abb. 3: Naturbadesees, besucht, August 2012

3.2 Probenahme

Die Probenahme erfolgte wöchentlich innerhalb der Badesaison von Mitte Mai bis Mitte September 2011, 2012 und Mai bis Juni 2013. Einige Probenahmen erfolgten außerhalb der Badesaison. Die Parameter pH- Wert, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und Redoxspannung wurden vor Ort im jeweiligen Wasserkörper gemessen. Dabei wurden die entsprechenden Elektroden/Sensoren an unterschiedlichen Stellen im Badesee, Filter und Flachwasser über dem Filter eingetaucht und die ausgegebenen Werte notiert. Aus diesen Werten wurde der Mittelwert gebildet. Die Probeentnahme erfolgte manuell mit einem Schöpfgefäß, welches an einer Teleskopstange befestigt war. Das Schöpfgefäß wurde zuvor im Labor gereinigt, mit Aqua dest. intensiv gespült und anschließend in eine saubere Kunststoffolie eingewickelt. Damit sollten Verschmutzungen bis zur Probenahme verhindert werden.

Um die Heterogenität dieser Parameter in der gesamten Anlage zu erfassen, erfolgte die Probenahme ebenfalls an unterschiedlichen Stellen. Ein intensiv gereinigter und mit Aqua dest. gespülter Eimer wurde gefüllt und aus dessen Mischprobe die Probeflaschen befüllt. Die Proben wurden in einer Kühltasche gelagert und transportiert.

Um das Filterwasser zu beproben, mussten die Probenentnahmeschächte geöffnet werden. Die Schachtdeckel waren immer wieder Anlaufstelle von Vögeln. Nach einem Regenguss blieb auf den Abdeckungen der Schächte Rückstandswasser zurück, welches auf keinen Fall bei der Deckelabnahme in den Filter gelangen durfte.

Der Gesamt-Phosphor- Gehalt, die Ammonium- N- und Nitrat- N- Konzentrationen sowie die Keimzahl an *E.coli* und Enterokokken wurden im Labor der MFPA analysiert. Die Bestimmung des Parameters *Pseudomonas aeruginosa* erfolgte durch das Labor Dr. Mitsching, Weimar.

3.3 Physikalische Parameter

3.3.1 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur wurde mit einem Handmessgerät (WTW) vor Ort gemessen, welches in das Gerät zur Leitfähigkeitsmessung integriert war. Die Messung erfolgte im Badebeckenwasser, im Filterwasser und im Flachwasser über dem Filter [16] [17].

3.3.2 Sichttiefe

Die Sichttiefe wurde visuell ohne Hilfsmittel festgestellt, da an allen Tagen der Untersuchungen eine Sichttiefe bis auf den Grund des Badeteiches gegeben war [18].

3.4 Chemische Parameter

Die chemischen Parameter pH- Wert, elektrische Leitfähigkeit, Gesamt- Phosphor- Gehalt, Ammonium- Gehalt und Nitrat- Gehalt wurden für die Bereiche Badebecken, Filter, Flachwasser über dem Filter, Füllwasser und Regenwasser bestimmt. Eine Ausnahme stellte die Redoxspannung dar, denn sie wurde nur für die Bereiche Badebecken, Filter und Flachwasser über dem Filter bestimmt.

3.4.1 pH- Wert

Der pH-Wert ist eine dimensionslose Kennzahl, die als der negativ dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration definiert ist. Die Bestimmung erfolgte nach der DIN EN ISO 10523:2012 mit Hilfe des pH-Messgerätes „pH 320“ der Firma WTW [8] [16]. Bei den pH-Elektroden handelte es sich um elektrochemische Sensoren. Der pH- Wert wurde von der Anzeige des Gerätes abgelesen und dokumentiert.

3.4.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit liefert eine Aussage über die gelösten, ionischen Bestandteile einer wässrigen Lösung. Dieser Summenparameter ist abhängig von der Ionenart, der Ionenkonzentration sowie von der Temperatur [21]. Die Bestimmung erfolgte gemäß der DIN EN 27888:1993 mit einem portablen Leitfähigkeits-Messgerät (Konduktometer Cond 197i) der Firma WTW [22]. Da die elektrische Leitfähigkeit temperaturabhängig ist, musste diese Temperaturabhängigkeit korrigiert werden. Die Korrektur erfolgte geräteintern über Temperaturkorrekturfaktoren [16].

3.4.3 Redoxspannung

Die Redoxspannung liefert einen Hinweis auf das Vorhandensein von oxidierenden oder reduzierenden Stoffen im Wasser und dient als Maß für die Elektronenaktivität [16] [24]. Sie wurde mit dem Gerät „pH 320“ von WTW bestimmt, welches für die Messung des pH- Wertes und der Redoxspannung ausgelegt ist. Als Grundlage diente die DIN 38404-6:1984.

3.4.4 Gesamt- Phosphor (P_{ges})

Der P_{ges} - Gehalt der Wasserprobe wurde mittels Aufschluss nach DIN EN ISO 6878:2004 bestimmt. Dabei handelt es sich um eine photometrische Bestimmung des Gesamt-Phosphor-Gehaltes nach dem Aufschluss mit Kaliumperoxodisulfat. Für diesen Ansatz wurde ein Test- Kit der Firma Merck-Chemicals verwendet.

3.4.5 Ammonium- Stickstoff

Ammonium- Stickstoff kommt im Wasser, abhängig vom pH- Wert, in Form von NH_4^+ - Ionen, NH_4OH oder NH_3 vor [26]. Die Bestimmung erfolgte gemäß der DIN 38406-5:1983. Die Ammonium- Bestimmung beruht auf einer photometrischen Messung.

3.4.6 Nitrat- Stickstoff

Der Nitrat- N wurde gemäß der DIN 38405-9:2011 bestimmt.

3.5 Hygienisch-mikrobiologische Parameter

Die Gehalte an *E.coli*, Enterokokken und *Pseudomonas aeruginosa* in den Wasserproben wurden in KBE angegeben. Darunter wird im Allgemeinen die Anzahl von Mikroorganismen in einer festgelegten Wassermenge verstanden.

3.5.1 Escherichia coli

Die Quantifizierung von *E.coli* im Badebeckenwasser, im Filterwasser und im Flachwasser über dem Filter erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 9308-1 sowie mit speziellen Nährkartonscheiben (Selektivmedien) „ECD-MUG- NKS“ (analog „Schweizerisches Lebensmittelbuch“) und „Colichrom- NKS“. Bei den Nährkartonscheiben (NKS) handelt es sich um sterile Trockennährböden aus Zellulosekarton mit integrierten Nährstoffen. Sie werden in einer sterilen Petrischale geliefert und sind im Labor leicht und praktikabel handhabbar [28].

3.5.2 Enterokokken

Die Zahl der (intestinalen) Enterokokken im Badebeckenwasser, im Filterwasser und im Flachwasser über dem Filter erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 7899-2 sowie mit den speziellen Nährkartonscheiben „Enterokokken- NKS“ (Rezeptur nach Trinkwv. 2001, ISO 7899) und „Azid- NKS“.

3.5.3 Pseudomonas aeruginosa

Pseudomonas aeruginosa wurde im Labor „Dr. Mitsching- Labor für Hygiene und Mikrobiologie“ in Weimar bestimmt. Die Bestimmung erfolgte gemäß der DIN EN ISO 16266:2008.

3.6 Zusammenfassung

In der *Tabelle 1* wurden die Bestimmungen der physikalischen, chemischen und hygienisch- mikrobiologischen Parameter zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1: Überblick über die bestimmten Parameter

Parameter		Bestimmungsmethode	Untersuchung
physikalisch	Sichttiefe	visuell	vor Ort
	Wassertemperatur	DIN 38404-4	vor Ort
chemisch	Ammonium	DIN 38406-5	Labor MFPA
	Gesamtphosphor	DIN EN ISO 6878	Labor MFPA
	Leitfähigkeit	DIN EN 27888	vor Ort
	Nitrat	DIN 38405-9	Labor MFPA
	pH-Wert	DIN EN ISO 10523	vor Ort
	Redoxspannung	DIN 38404-6	vor Ort
hygienisch- mikrobiologisch	<i>E. coli</i>	DIN EN ISO 9308-1; ECD-MUG-, Colichrom- NKS	Labor MFPA
	Enterokokken	DIN EN ISO 7899-2; Enterokokken-, Azid-NKS	Labor MFPA
	<i>P. aeruginosa</i>	DIN EN ISO 16266	Labor Dr. Mitsching

4 Ergebnisse und Auswertung

Aufgrund der Tatsache, dass bei der Messwertermittlung messtechnisch bedingte Analyseergebnisse wie $<0,001$, $<0,01$ und $<0,1$ aufgezeichnet wurden, mussten die nachfolgenden Annahmen getroffen werden (vgl. *Tab. 2*).

Tabelle 2: *Getroffene Annahmen bezüglich der messtechnisch bedingten Grenzwerte*

Parameter	Grenzwert	Annahme
Ammonium-N	$<0,001$	0
	$<0,01$	0,005
Nitrat-N	$<0,001$	0
	$<0,01$	0
	$<0,1$	0,05
Gesamt-Phosphor	$<0,001$	0

Die Werte der jeweiligen Parameter wurden in Diagrammen des Tabellenkalkulationsprogrammes Excel 2007 in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen und ausgewertet. Die einzelnen Messwerte wurden als Punkte dargestellt. Wenn seitens der FLL 2011 „Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm- und Badeteiche)“ Höchstwerte bzw. Minimalwerte (Richtwerte) vorgegeben waren, wurden diese in dem jeweiligen Diagramm eingefügt oder im dazugehörigen Text vermerkt.

In den Untersuchungen wurden Ammonium- Stickstoff- bzw. Nitrat- Stickstoff- Werte erfasst. Um einen Vergleich mit den geforderten Höchstwerten nach FLL-Richtlinie zu ermöglichen, wurden die Grenzwerte umgerechnet.

4.1 Badebecken

4.1.1 Physikalische Parameter

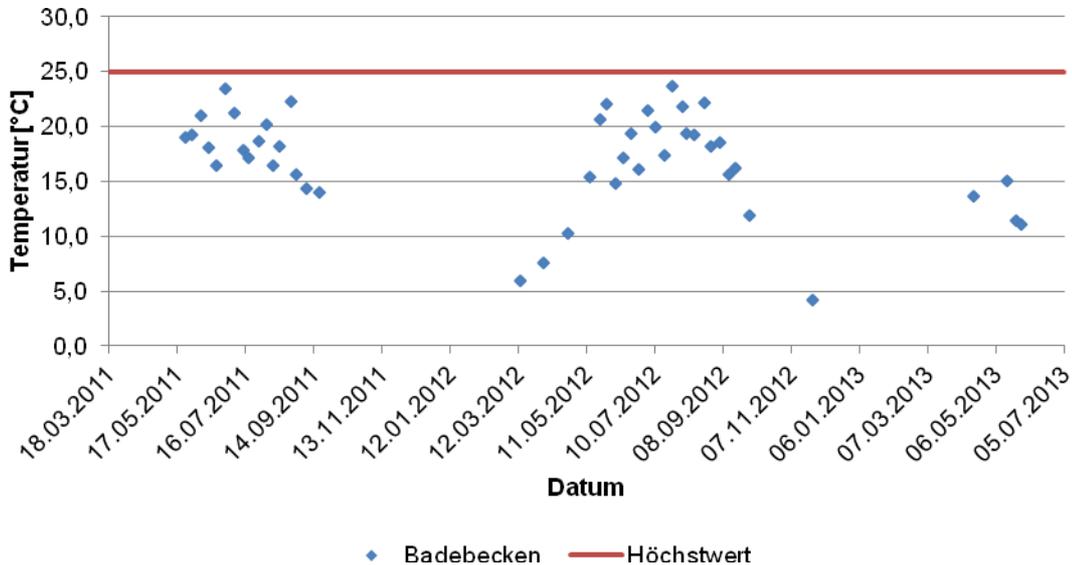


Abb. 4: Wassertemperatur des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchstwert nach FLL- Richtlinie 2011

In *Abbildung 4* wird ersichtlich, dass in den Sommermonaten höhere Wassertemperaturen als außerhalb der Badesaison gemessen wurden. Die Wassertemperaturen folgten den Umgebungstemperaturen und unterlagen somit den jahreszeitlichen Schwankungen. Im Badebecken blieben die Wassertemperaturen während des gesamten Versuchszeitraumes unter dem in der FLL- Richtlinie 2011 geforderten Richtwert von 25°C.

Länger anhaltende Temperaturen über 25°C können das Wachstum von Phytoplankton und pathogenen Keimen erhöhen. Während erhöhte Gehalte an Phytoplankton (mit Ausnahme der Blaualgen= *Cyanobakterien*) für den Menschen nicht problematisch sind, können erhöhte Konzentrationen an Krankheitserregern eine Gefahr darstellen [29].

An allen Untersuchungstagen war eine Sichttiefe bis auf den Grund des Badebeckens gegeben. Es gab keine Einschränkungen durch Eintrübungen oder auffälliges Algenwachstum.

4.1.2 Chemische Parameter

Die aufgezeigte Stabilität des **pH- Wertes** (vgl. *Abb. 5*) ist bedeutsam für das Funktionieren eines Ökosystems, z. B. Badeteich, denn große Schwankungen des pH-Wertes führen zu einer Stresssituation der im Wasser lebenden Makro- und Mikroorganismen. Der Abbau der eingebrachten Stoffe kann dadurch weniger intensiv oder unvollständig erfolgen [30].

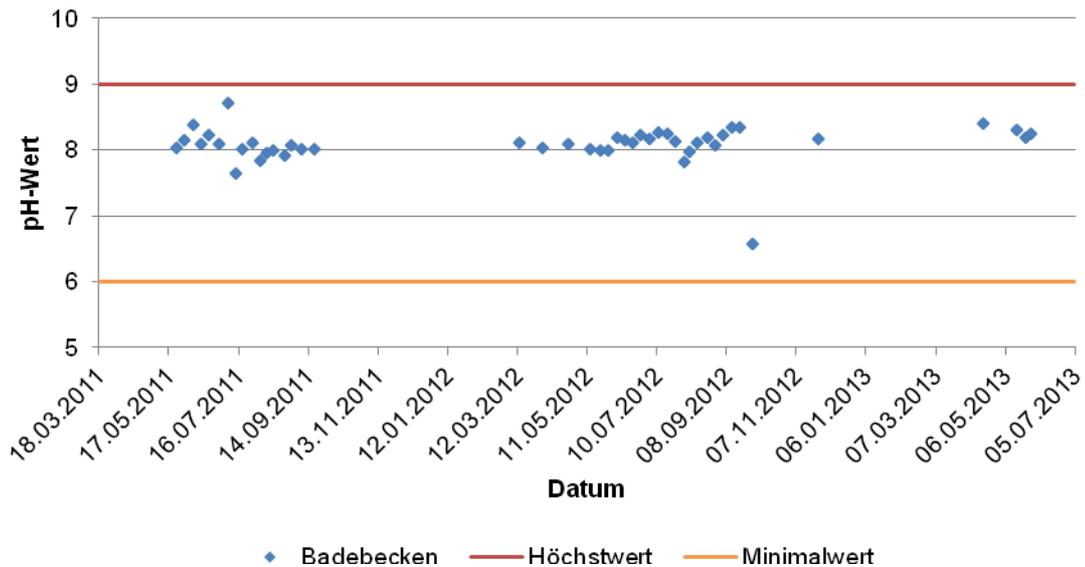


Abb. 5: pH- Wert des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchst- bzw. Minimalwert nach FLL- Richtlinie 2011

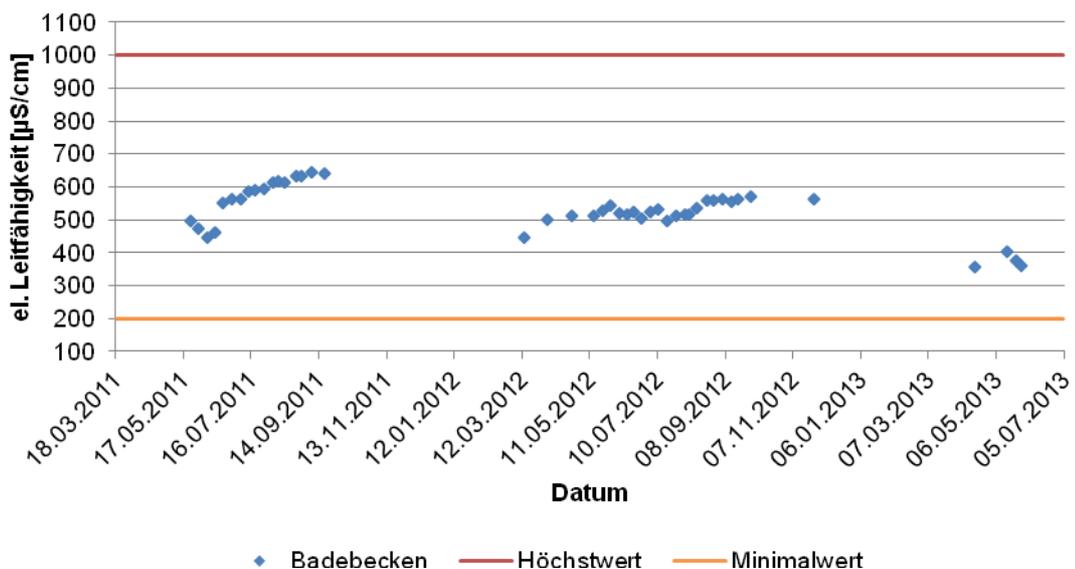


Abb. 6: Elektrische Leitfähigkeit des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchst- bzw. Minimalwert nach FLL- Richtlinie 2011

Im Jahr 2011 wurden für die **elektrische Leitfähigkeit** des Badebeckenwassers Werte im Bereich zwischen 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ erfasst. In 2012 bewegte sich die elektrische Leitfähigkeit zwischen 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 580 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Monate Mai und Juni 2013 zeigten eine, im Vergleich zu den vorherigen Jahren relativ geringe Leitfähigkeit (vgl. *Abb. 6*). Die Ursache hierfür liegt höchstwahrscheinlich in den hohen Anteilen Regenwasser in diesem Zeitraum. In *Abbildung 23* wird erkenntlich, dass das Regenwasser eine sehr geringe Leitfähigkeit besitzt und bei hoher Eintragsmenge in der Lage ist, die elektrische Leitfähigkeit der gesamten Anlage zu dominieren.

Der Verlauf der Messwerte der **Redoxspannung** in *Abbildung 7* zeigte erhebliche Schwankungen, lag aber immer im eindeutig positiven Bereich. Das bedeutet, es gab vorrangig kaum Sauerstoff-zehrende Prozesse im Badebeckenwasser. Das Absinken der Redoxspannung in den Sommermonaten 2012 lässt sich dadurch erklären, dass die vermehrt eingebrachten nährstofflichen Belastungen (hoher Badebetrieb) von den Mikroorganismen unter Sauerstoffverbrauch abgebaut wurden. Dies muss sowohl für den Biofilm des Filterkörpers als auch den Nutzungsbereich gesehen werden [8].

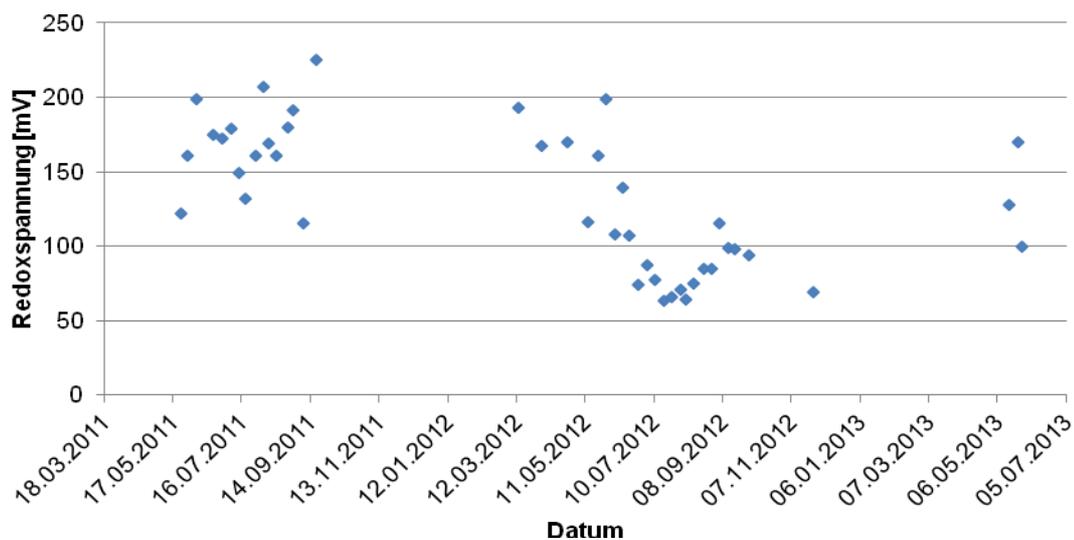


Abb. 7: Redoxspannung des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum

Dem Nährstoff **Phosphor** muss besondere Bedeutung zugeschrieben werden. Er gelangt vor allem durch die Badenden selbst, aber auch durch tierische Ausscheidungen ins Wasser. Bereits sehr kleine Mengen Phosphat reichen aus, um im Schwimm- und Badeteich trotz Stickstoffmangel eine beträchtliche Menge Algen- Biomasse zu produzieren.

Der Ammonium-N- Gehalt des Badebeckens hielt sich relativ stabil unter 0,01 mg/l. Nur an zwei Beprobungstagen traten Konzentrationen von etwa 0,05 mg/l auf. Der Grenzwert von 0,2 mg/l wurde nicht überschritten, wie in *Abbildung 9* gezeigt wird.

Beim durchweg sehr niedrigen Nitrat-N- Gehalt wurden geringe Schwankungen festgestellt (vgl. *Abb. 10*). Die Nitrat-N- Konzentration bewegte sich 2011 weitestgehend im Bereich zwischen 0,4 und 1,2 mg/l und 2012 größtenteils unter 0,7 mg/l. Der nach FLL- Richtlinie 2011 geforderte Höchstwert wurde an keinem Beprobungstag überschritten.

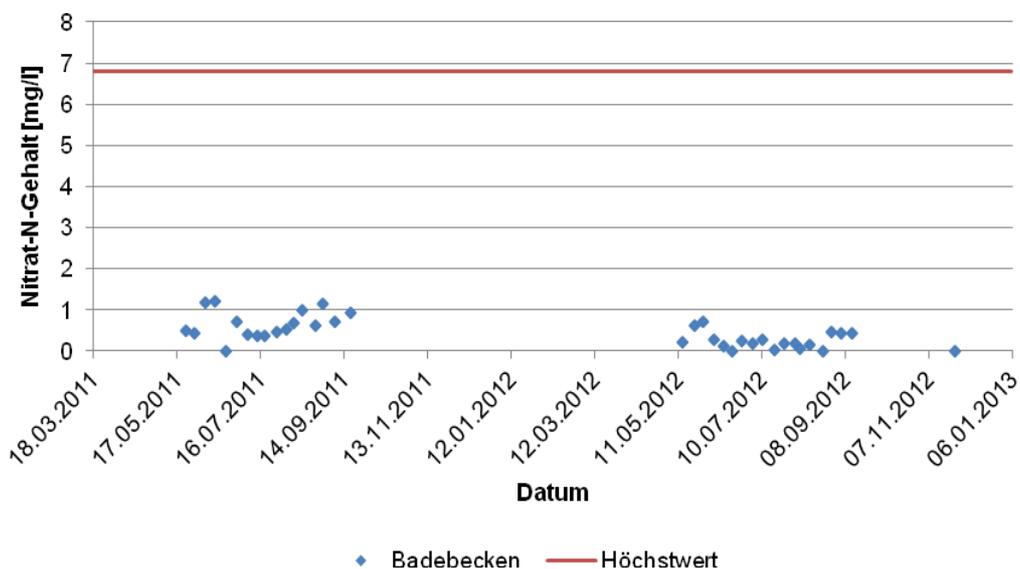


Abb. 10: Nitrat-N- Gehalt des Badebeckenwassers im Beprobungszeitraum und der geforderte Höchstwert nach FLL- Richtlinie 2011

Stickstoff ist ein essentieller Nährstoff und ausschlaggebender „Motor“ des Pflanzenwachstums. Er gelangt hauptsächlich durch menschliche und tierische Ausscheidungen (Urin) in den Schwimmteich [8]. Darüber hinaus ist der Stickstoffeintrag durch das Regenwasser und Füllwasser von Bedeutung. Die vorgegeben Grenzwerte an Ammonium-N und Nitrat-N wurden im Badebeckenwassers weit unterschritten. Die Gefahr eines übermäßigen Phytoplankton- und Cyanobakterien- Wachstums im Zusammenspiel mit Phosphor war nicht gegeben. Es wurde nur ein geringes Algenwachstum im Badebecken festgestellt (vgl. *Tab. 6, Anhang 02*). Vorhandenes Ammonium kann bei der Bodenfilterpassage schnell durch nitrifizierende Bakterien umgewandelt werden [8].

4.1.3 Hygienisch-mikrobiologische Parameter

Die Untersuchung der Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken liefert eine Aussage über die fäkale Belastung eines Badewassers. Die hygienische Beeinträchtigung des Wassers erfolgt hauptsächlich durch den Badenden, der ggf. Krankheitserreger in hohen Konzentrationen ausscheiden kann [8]. Eine Hintergrundbelastung war am Naturbadesee Kirchheim beständig durch Wasservögel gegeben und ließ sich nicht vermeiden.

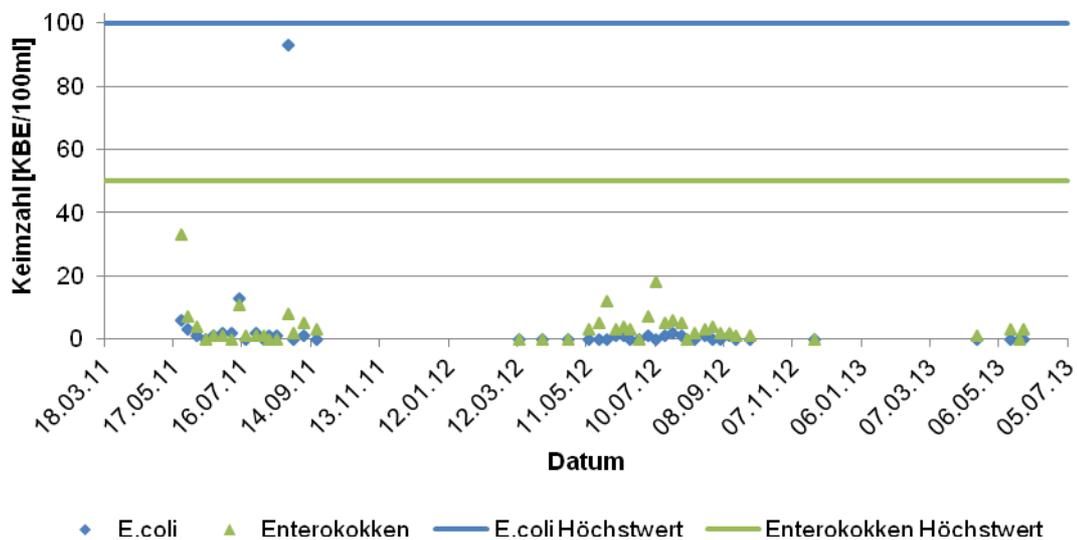


Abb. 11: Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Badebeckenwasser im Beprobungszeitraum mit den dazugehörigen Höchstwerten nach FLL- Richtlinie 2011

Im Untersuchungsjahr 2011 lagen die Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Badewasser sehr oft bei nahezu identischen Werten. Im Jahr 2012 waren die Keimzahlen an Enterokokken gegenüber *E. coli* erhöht. Enterokokken zeichnen sich gegenüber *E.coli* durch längere Überlebenszeiten (Persistenz) aus [31]. Die festgelegten Höchstwerte nach der FLL- Richtlinie aus dem Jahre 2011 im Badebeckenwasser von 100 KBE/100ml an *E. coli* und 50 KBE/100ml an Enterokokken wurden weit unterschritten (vgl. *Abb. 11*). Höchstwertnähe wurde nur an zwei Versuchstagen erreicht.

Pseudomonas aeruginosa trat bei allen Beprobungen 2011, 2012 und 2013 nicht auf und wird daher nicht weiter betrachtet.

Die Bestimmung der Keimzahlen mit den Nährkartonscheiben der Firma „Dr. Möller & Schmelz GmbH“ stellte eine sichere und schnelle Alternative der Keimzahlbestimmung dar. Die Schnellmethode ist eine nach DIN EN ISO 9001:2008 zertifizierte und in der Praxis erprobte Methode zum Nachweis und zur Selektion von Mikroorganismen. Bei Paralleluntersuchungen eines hessischen Labors wurden die Werte nach der Schnellmethode bestätigt.

4.2 Flachwasser und Filter

4.2.1 Physikalische Parameter

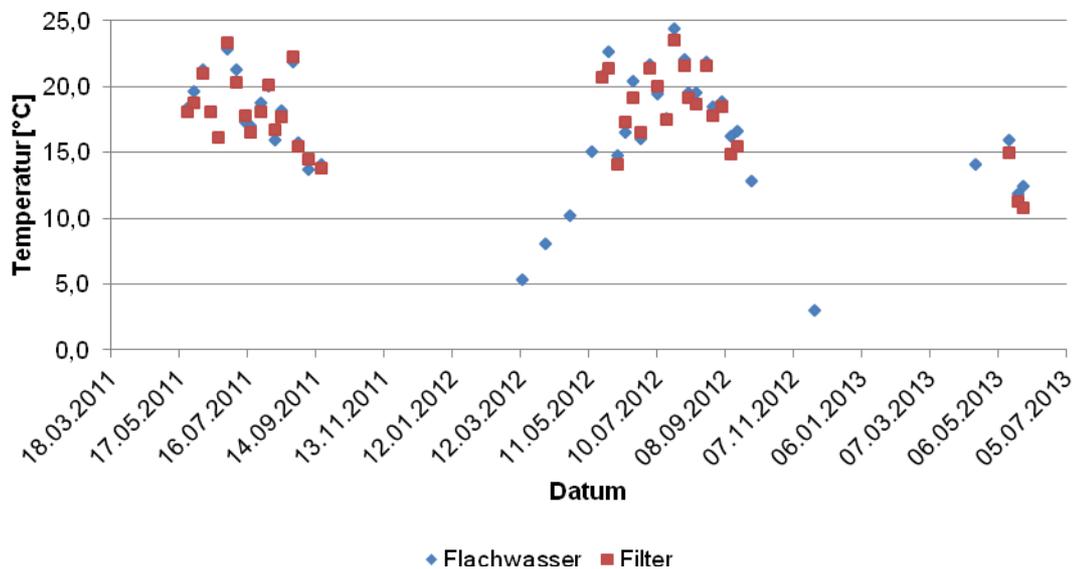


Abb. 12: Wassertemperaturen im Filter- und Flachwasser im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 12* lässt erkennen, dass die **Wassertemperaturen** im Filter und im Flachwasserbereich nahezu identisch waren. Auch hier wurden in den Sommermonaten höhere Temperaturen erfasst als in den übrigen Monaten des Jahres (vgl. *Abb. 4*).

4.2.2 Chemische Parameter

Die **pH- Werte** des Filterwassers und des Flachwassers hielten sich relativ stabil bei etwa pH 8, was der pH- Messwertverlauf in *Abbildung 13* zeigt. Zumeist war der pH- Wert des Flachwassers leicht höher als der des Filterwassers.

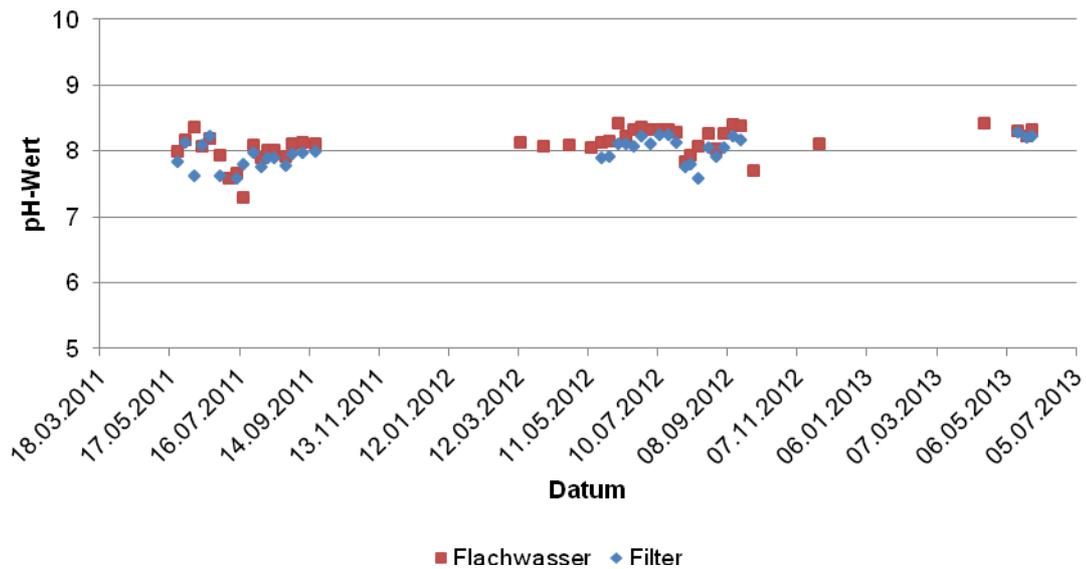


Abb. 13: pH- Werte des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

Die **elektrische Leitfähigkeit** verhielt sich im Flachwasser und im Filterwasser ähnlich wie im Badebeckenwasser (vgl. Abb. 6,14). Im Jahr 2011 stieg die elektrische Leitfähigkeit des Filterwassers und des Flachwasser von Mai bis September (Badesaison) stetig an. Auch im Jahr 2012 verhielten sich die beiden Bereiche bezüglich dieses Parameters gleich. Jedoch lag die elektrische Leitfähigkeit insgesamt niedriger als 2011 und schwankte im Bereich zwischen 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Im Mai und Juni 2013 wurden sehr niedrige Leitfähigkeiten zwischen 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen. Der Einfluss des Füll- und Regenwassers kommt ursächlich darin zum Ausdruck.

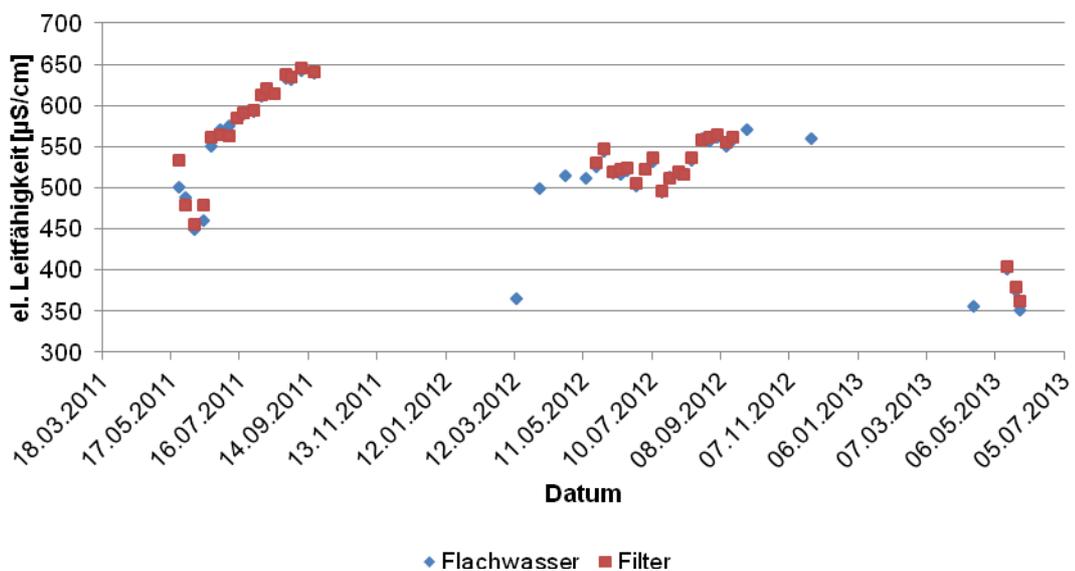


Abb. 14: Elektrische Leitfähigkeit des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 15* zeigt, dass die **Redoxspannung** im Filter- und Flachwasser stark schwankte, jedoch stets positive Werte erfasst wurden. In den Sommermonaten 2012 sank die Redoxspannung im Laufe des Badebetriebes. Die Ursachen können in der erhöhten Nutzung des Schwimmbades und dem dadurch zunehmenden Eintrag von nährstoffseitigen Belastungen liegen.

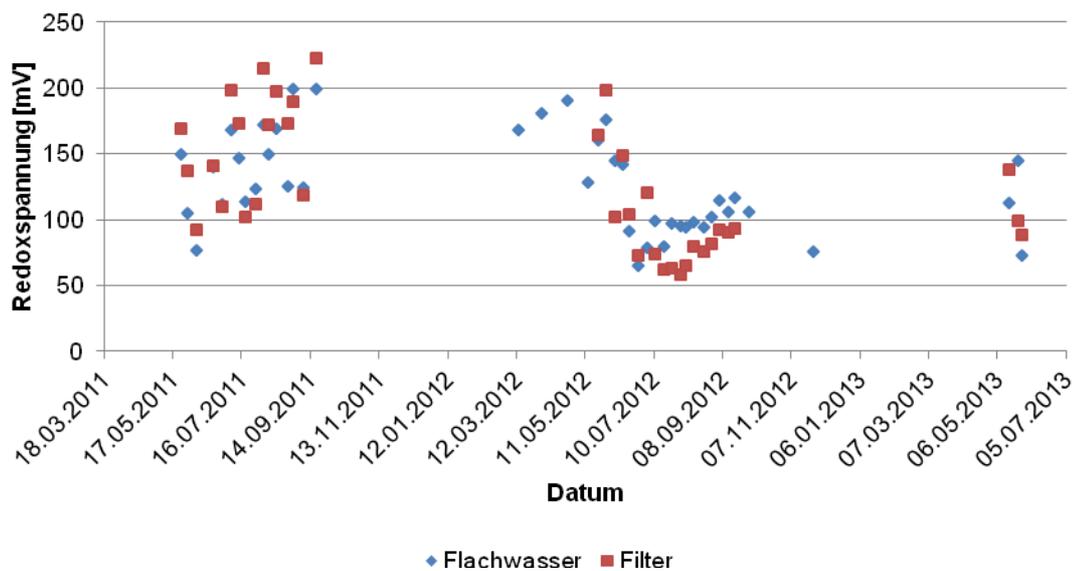


Abb. 15: Redoxspannung des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 16* verdeutlicht, dass vor allem in den Monaten Mai und Juni 2011 im Flach- und Filterwasser **P_{ges}- Konzentrationen** über 0,01 mg/l auftraten. An den restlichen Beprobungstagen 2011, 2012 und 2013 bewegte sich der P_{ges}- Gehalt größtenteils unter 0,01 mg/l. Der Gesamt-Phosphor- Gehalt im Flachwasser war generell höher als im Filterwassers. Durch den Nährstoffabzug aus dem oberflächennahen Wasser des Badebeckens, den „Vogelbesuch“ und die Füllwassereinspeisung ist die Flachwasserzone der stärkste phosphorseitig belastete Teil des Systems.

Am Ende der ersten Saisonhälfte 2011 traten verstärkt Algen in der Flachwasserzone auf, besonders um den Füllstein herum (vgl. *Abb.17* und *Tab. 6, Anhang 02*). Die Algen trugen zur intensiven P- und N- Eliminierung bei.

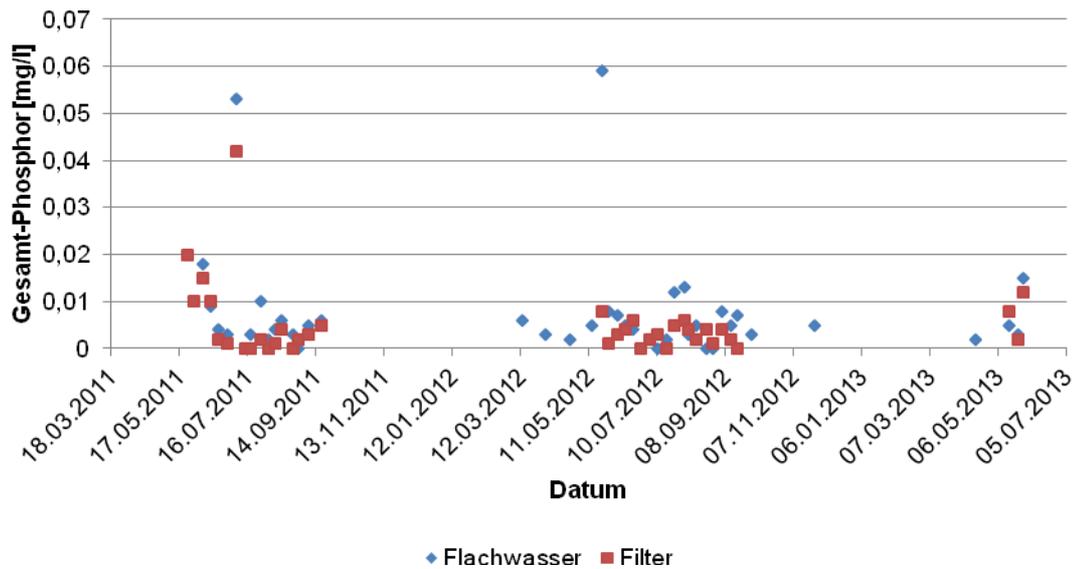


Abb. 16: Gesamt-Phosphor-Gehalt des Filterwasser und des Flachwassers über dem Filter im Beprobungszeitraum

Im Jahresverlauf 2011 und in der Folgezeit konnten sich der Biofilm im Filterkörper sowie die Wasserpflanzen im Regenerationsbereich weiter ausbilden („Einfahrzeit“).



Abb. 17: Algenwachstum in der Flachwasserzone, Juni 2011

In der *Abbildung 18* ist zu erkennen, dass der **Ammonium-N-** Gehalt des Flach- und Filterwassers in der ersten Saisonhälfte 2011 höher war als im restlichen Analysezeitraum. Nach der Einfahrphase war der Ammonium-N- Gehalt in beiden Zonen stabiler. Im ersten Versuchsjahr blieben der Ammonium-N- Gehalt des Flach- und Filterwassers zumeist unter 0,02 mg/l. Im Jahr 2012 wurden niedrigere Werte bis etwa 0,014 mg/l erfasst. Der Ammonium-N- Gehalt des (aufbereiteten) Filterwassers lag unter dem der Flachwasserzone.

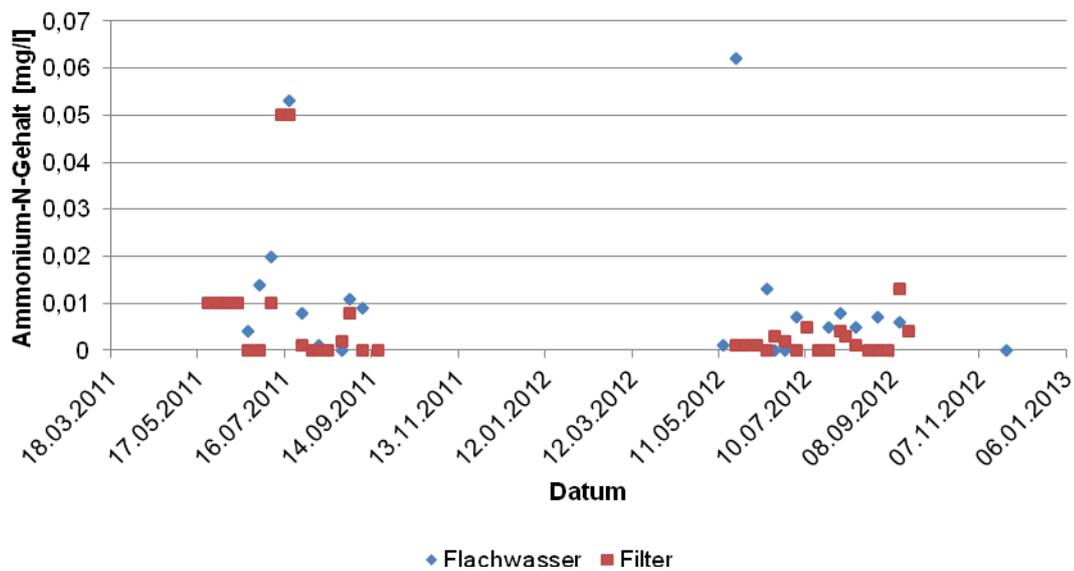


Abb. 18: Ammonium-N-Gehalt des Filterwassers und des Flachwassers über dem Filter im Beprobungszeitraum

Der Verlauf der Messwerte in *Abbildung 19* zeigt, dass die **Nitrat-N-** Konzentrationen 2011 über denen in 2012 lagen. Im ersten Beprobungsjahr wurden Werte unter 1,6 mg/l erfasst. Im zweiten Untersuchungsjaar erreichte der Nitrat-N- Gehalt nur noch Maximalwerte von 0,5- 0,6 mg/l. Durch Nitrifikationsprozesse im Bodenfilter bedingt lag der Nitrat-N- Gehalt des Filterwassers meistens über dem des Flachwassers.

Grundsätzlich kann N über Aufnahme in die Algenbiomasse, Deammonifikations- und Denitrifikationsprozesse eliminiert werden.

Das System Badeteich muss aufgrund der extrem niedrigen Nährstoffkonzentrationen als *oligotroph* (nährstoffarm) bezeichnet werden.

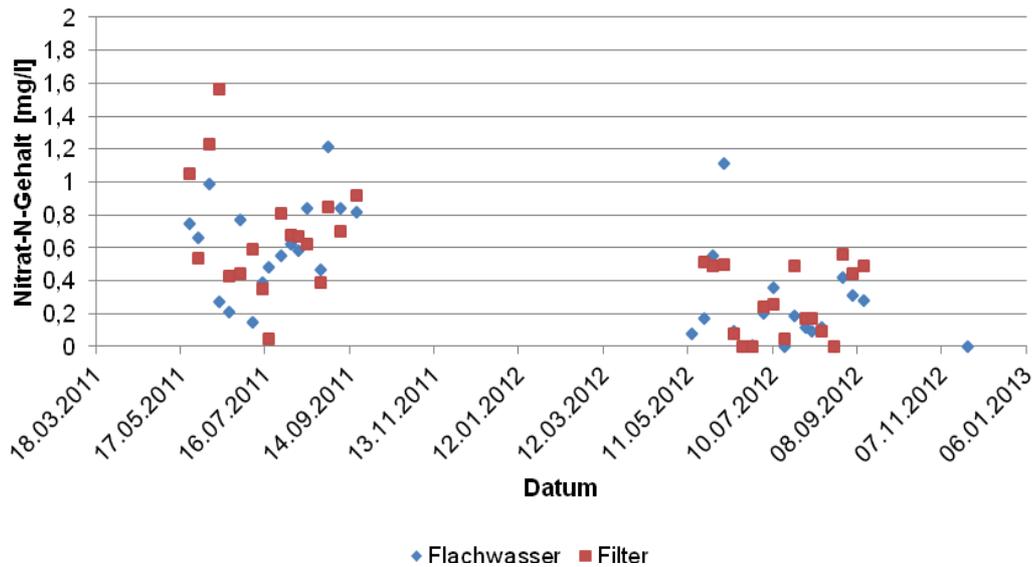


Abb. 19: Nitrat-N- Gehalt des Filter- und Flachwassers im Beprobungszeitraum

4.2.3 Hygienisch-mikrobiologische Parameter

Im Flachwasser oberhalb des Filters lag die Enterokokken- Gehalt meist über der *E.coli*- Konzentration, was sich in der *Abbildung 20* zeigt. Während 2011 zumeist Keimzahlen unter 90 KBE/100 ml erfasst wurden, schwankten sie 2012 unter 50 KBE/100 ml. In den ersten Versuchsmonaten 2013 lagen die Konzentrationen der Indikatorbakterien größtenteils unter 20 KBE/100 ml.

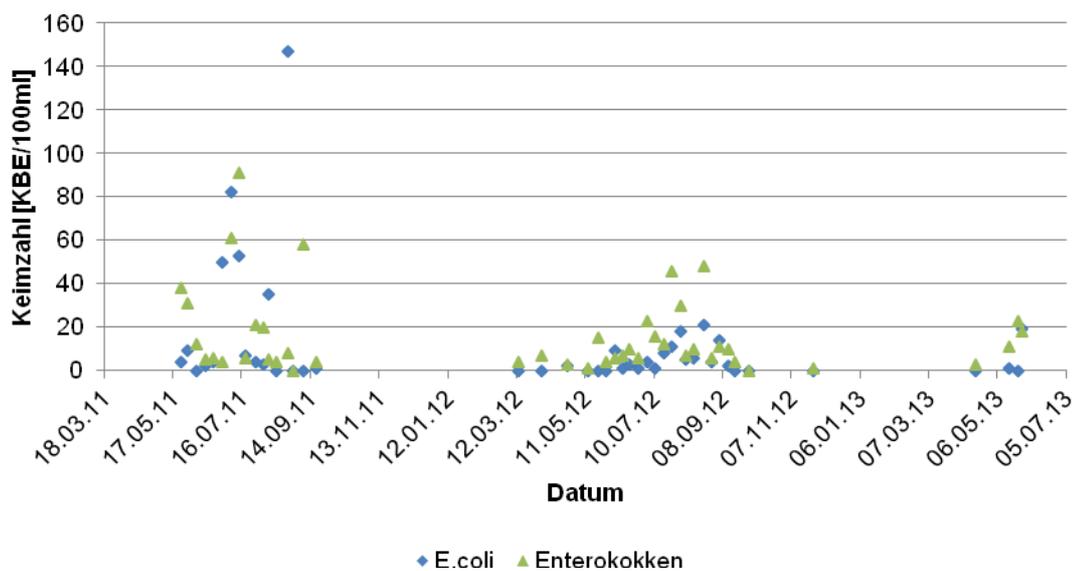


Abb. 20: Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Flachwasser im Beprobungszeitraum

Auch im Filterwasser wurden 2011 höhere Keimzahlen als im darauffolgenden Jahr registriert. Im ersten Jahr schwankten die Werte unter 4 KBE/100 ml, im zweiten Jahr wurden nur Maximalwerte von 2 KBE/100 ml erreicht (vgl. Abb. 21).

Im Filterwasser wurden geringere Zahlen der Indikatorkeime als im Badewasser registriert. Dies spricht für die Qualität der Wasseraufbereitung über die Filterpassage.

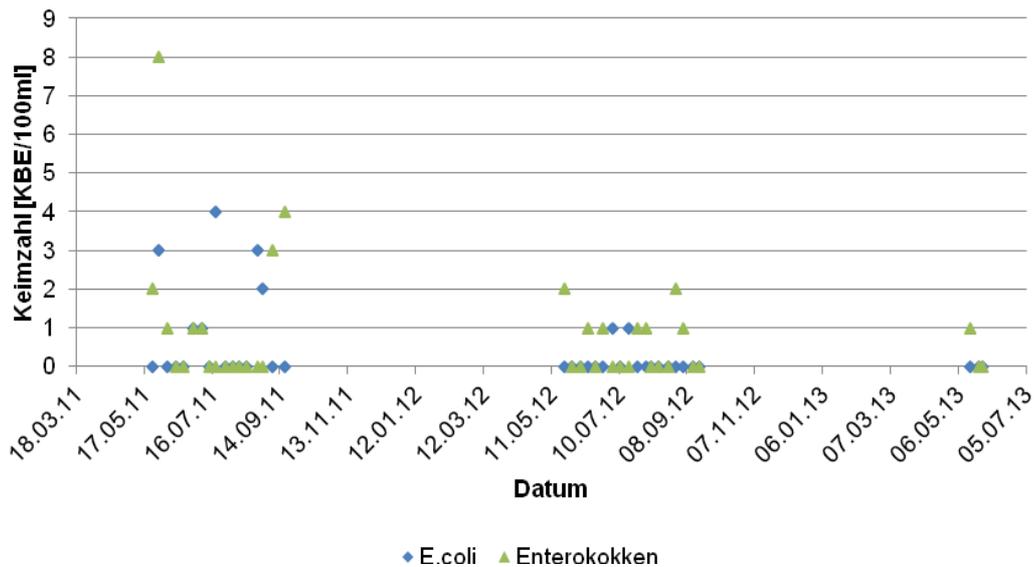


Abb. 21: Keimzahlen an *E.coli* und Enterokokken im Filterwasser im Beprobungszeitraum

Die Keimzahlen im Flachwasser lagen stetig über denen des Bade- und Filterwassers. Das Wasser vom Badebecken strömt in den Regenerationsbereich und passiert danach vertikal den Filter. Aufgrund der geringeren Wassermenge über dem Filter kam es wahrscheinlich zu einer Aufkonzentrierung an Keimen, bevor diese mit der Filterpassage eliminiert werden konnten. Der Bodenfilter war in der Lage, die Indikatorkeime im Wasser zuverlässig und problemlos zu beseitigen und kontinuierlich auf einem niedrigen Niveau zu halten. Unterstützt wurde dieser Prozess durch solare Einflüsse und die des Zooplanktons.

Der „Problemkeim“ *Pseudomonas aeruginosa* konnte an keinem Beprobungstag nachgewiesen werden. Der Erreger von Mittelohrentzündungen ist normalerweise als opportunistischer Keim auch in natürlichen Systemen ubiquitär vertreten [9]. Damit ist seine Indikatorfunktion nur eingeschränkt zu bewerten.

Keimeliminierung im Filterkörper

Die Eliminationsraten für die Indikatorkeime *E.coli* und Enterokokken wurden bestimmt, um über die Keimreduktion des Filterkörpers eine Aussage zu treffen. Für das Flachwasser (oberhalb des Filter) wurde eine hygienische Belastung von 100 % angenommen, da das „abgebadete“ Wasser aus dem Nutzungsbereich in die Flachwasserzone einströmte und dort zusammen mit der hygienischen Kontamination durch Wasservögel (Hintergrundbelastung) die höchste Konzentration an Keimen erreichte. Die Keimzahlen des Filterwassers und des Flachwassers wurden ins Verhältnis gesetzt. Das Badebeckenwasser war lediglich das Resultat der Einspeisung des Filterwassers in den Nutzungsbereich und wurde hierbei nicht betrachtet. Aufgrund der Aufenthaltszeit des Wassers im System und den unmittelbar aufeinanderfolgenden Probenahmen ist zu berücksichtigen, dass die Proben aus dem Filter zeitlich nicht unmittelbar mit den Proben aus dem Flachwasser korrelierten. Die Aufenthaltszeiten des Wassers im jeweiligen Wasserkörper waren bedingt durch den Pumpenzyklus. Diese interne Verschiebung verlor jedoch aufgrund der untersuchten Probendichte an Wertigkeit.

Tabelle 3: Eliminationsraten von *E.coli* und Enterokokken im Filter

	Eliminationsrate in %	
	<i>E.coli</i>	Enterokokken
Mittelwert	91,40	89,56
Median	100	100

Die Eliminationsraten wurden aus dem Median und Mittelwert der Analysenergebnisse gebildet und in der *Tabelle 3* dargestellt. Sowohl für *E.coli* als auch die Enterokokken bewirkte der Filterkörper durchschnittlich (arithmetisches Mittel) eine Keimeliminierung von einer 10er-Potenz. Der Median blieb unbeeinflusst von „Ausreißern“ und ergab eine Reduktionswirkung von 100 %. Die Ausreißer kamen höchstwahrscheinlich dadurch zustande, dass Vogelkot auf den Schachtdeckeln bei Starkregen abgespült wurde und selbst bei vorsichtigen Probenahmen in den Filterschacht gelangen konnte. Aufgrund dessen ist der Median mit einer Keimreduktion von 100 % als realistischer Wert anzusehen.

Anhand dieser Ergebnisse und der Tatsache, dass die geforderten Höchstwerte für die Indikatorbakterien im Badebeckenwassers stabil eingehalten wurden (vgl. *Abb. 11*), kann dem Filterkörper eine hohe Wirksamkeit bei der Beseitigung der hygienischen Belastungen zuerkannt werden.

4.3 Füllwasser und Regenwasser

Bezüglich des Füll- und Regenwassers wurden nur chemische Analysen durchgeführt.

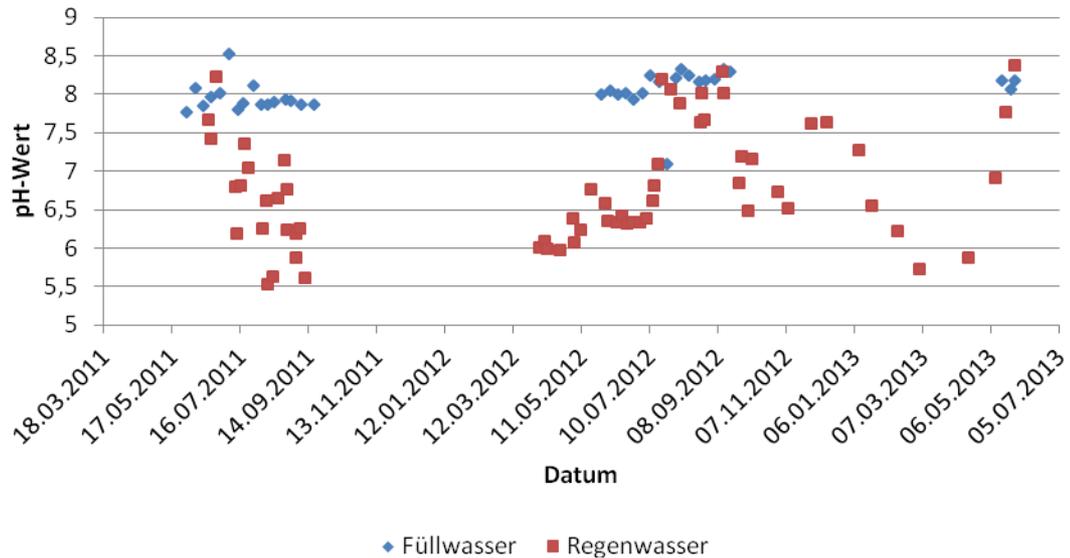


Abb. 22: pH- Werte des Füllwasser und des Regenwassers im Beprobungszeitraum

Die *Abbildung 22* zeigt, dass der **pH- Wert** des Regenwassers im Bereich zwischen 5,5 und 8,4 schwankte. In den niedrigen pH- Bereichen zwischen 5 und 6 könnte der Aspekt des „sauren Regens“ gesehen werden. In den Sommermonaten wurden höhere pH- Werte als in den übrigen Monaten gemessen. Der pH- Wert des Füllwassers lag stabil im Bereich zwischen 7,8 und 8,5 im Jahr 2011 und zwischen 8,0 und 8,3 in 2012.

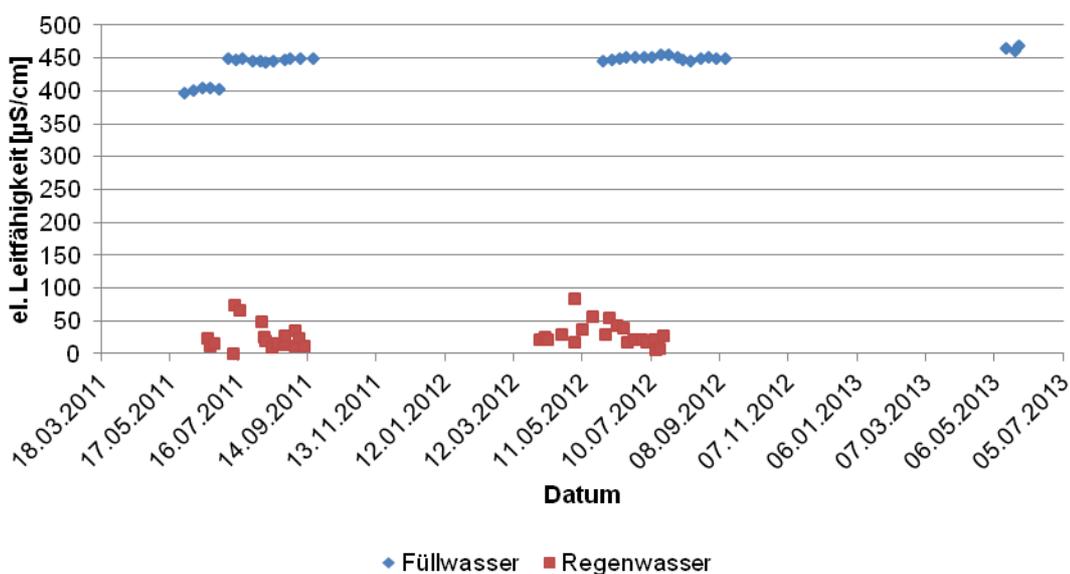


Abb. 23: Elektrische Leitfähigkeit des Füll- und Regenwassers im Beprobungszeitraum

Das Füllwasser war bezüglich der **elektrischen Leitfähigkeit** weitgehend konstant, was im Jahr 2012 mit 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ besonders deutlich wurde (vgl. *Abb. 23*). Der Höchstwert für das Füllwasser von 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ wurde weit unterschritten. Die elektrische Leitfähigkeit des Regenwassers blieb im Untersuchungszeitraum unter 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

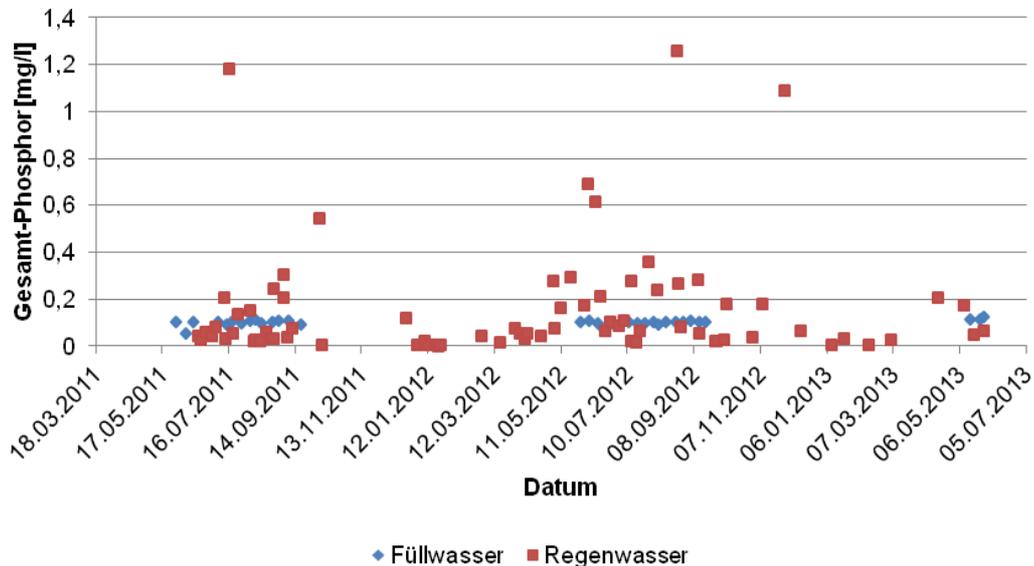


Abb. 24: Gesamt-Phosphor- Gehalt des Füll- und Regenwassers im Beprobungszeitraum

Die **P_{ges}- Konzentration** des Füllwassers lag relativ stabil bei ca. 0,1 mg/l und damit etwa um das 10-fache höher als der Höchstwert, der laut FLL- Richtlinie 2011 im Badebecken einzuhalten war.

Der P_{ges}- Gehalt des Regenwassers schwankte stark und lag in den Sommermonaten vergleichsweise höher als in den restlichen Versuchsmonaten (vgl. *Abb. 24*). Die durchschnittliche Phosphor-Konzentration des Regenwassers lag bei 0,16 mg/l (Median: 0,06 mg/l) und somit 16-mal so hoch wie der festgeschriebene Höchstwert von 0,01 mg/l für das Badewasser. Als Beispiel eines nährstoffreichen Niederschlages gibt *Hoffmann (1972)* einen Phosphorgehalt von 0,995 mg/l an [32]. Durch Niederschläge können größere Mengen Phosphor in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge in das Badewasser eingetragen werden. Das Volumen des Badesees beeinflusst die resultierende Konzentration an P_{ges}. Phosphorhaltige Verbindungen kommen in der Atmosphäre meist als Partikel vor, primär als Blütenstaub (Pollen) und mineralischer Staub [33]. Die Stoffe gelangen mit dem Regen in Oberflächengewässer und können die Eutrophierung stimulieren.

Auch der Wind kann Stäube und organische Materialien wie Blüten im Frühjahr oder Laub im Herbst in das Wasser eintragen. Durch den mikrobiellen Abbau der organischen Stoffe steigt die P- Konzentration des Gewässers [12] .

Die *Abbildung 25* zeigt, dass der **Nitrat-N- und Ammonium-N-** Gehalt des **Regenwassers** im Untersuchungszeitraum unter 2 mg/l schwankte. Der durchschnittliche Nitrat-N- bzw. Ammonium-N- Eintrag in das Badewasser aufgrund von Niederschlägen lag bei 0,66 mg/l (Median: 0,59 mg/l) bzw. 0,541 mg/l (Median: 0,343 mg/l).

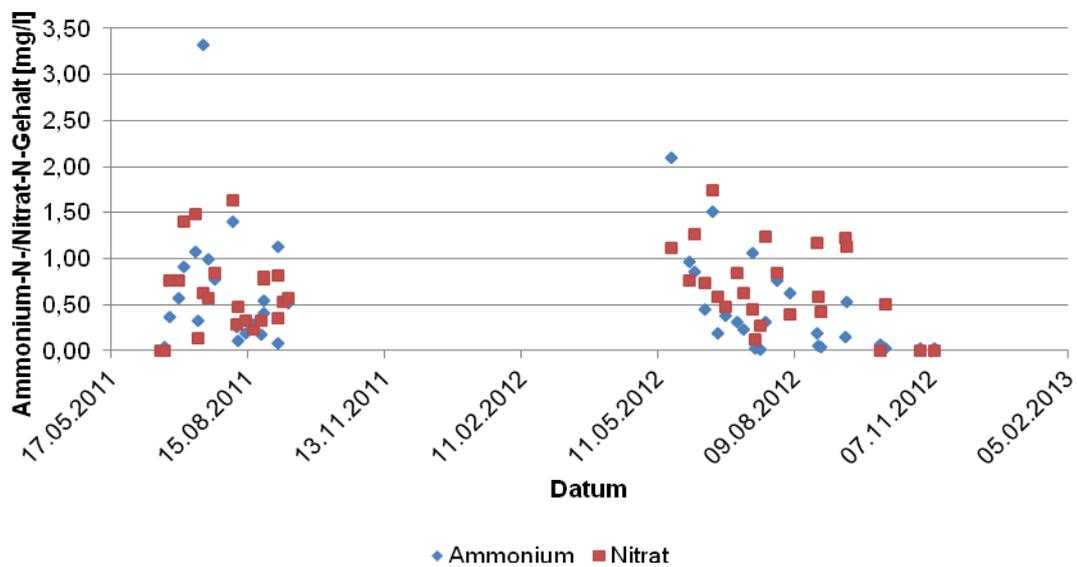


Abb. 25: Ammonium-N- und Nitrat-N- Gehalte des Regenwassers im Beprobungszeitraum

Zusammen mit dem limitierenden Faktor Phosphor können Pflanzennährstoffkonzentrationen und -frachten erreicht werden (vgl. Abschnitt 4.4.2), die eine Algenentwicklung ermöglichen.

Trinkwasser des örtlichen Wasserversorgers diente als **Füllwasser**, das nach der geltenden Trinkwasserverordnung. von einem Labor getestet und kontrolliert wurde. Die Ergebnisse der Trinkwasseruntersuchungen (nach Entsäuerung) bestätigten die Ergebnisse für Ammonium- und Nitrat-N (siehe Anhang).

4.4.1 Hydraulische Frachten

Füll- und Regenwassereinträge

Im Folgenden werden die hydraulischen Frachten für Regenwasser und Füllwasser in den Monaten Mai bis September der Jahre 2011 und 2012 betrachtet (vgl. *Abb. 27* und *28*).

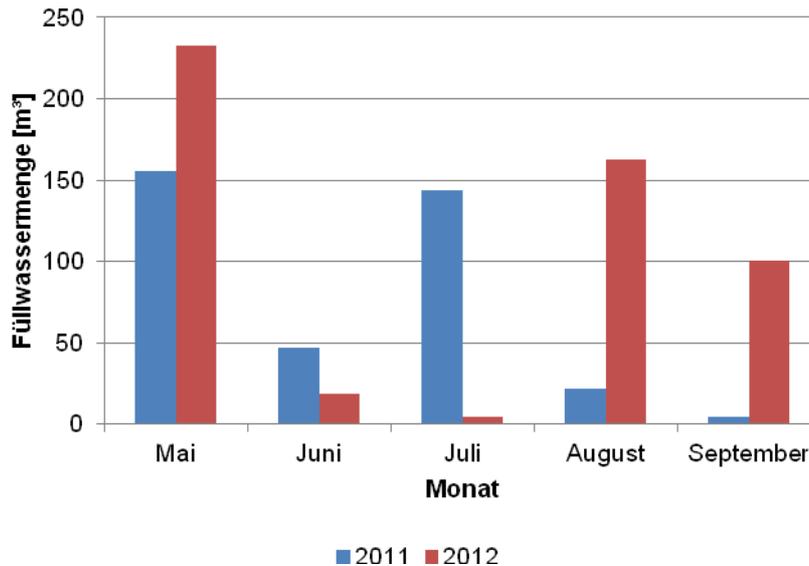


Abb. 27: Füllwasser- Einspeisung in der Badesaison 2011 und 2012

In der Badesaison 2011 und 2012 wurden ca. 373 m³ bzw. 519 m³ Wasser eingespeist. Kurz vor Beginn der Badesaison 2011 und 2012 mussten große Mengen Füllwasser eingefüllt werden, um das festgelegte Wasserniveau zu erreichen (niedriger Wasserstand im Winter: Frostschutz). Die weitere Zugabe von Füllwasser in der Badesaison richtete sich nach dem Verdunstungsverlust und dem Regenwassereintrag. Die Füllwassereinspeisung zeigte, dass an heißen Tagen (kaum Niederschlag), vor allem im Mai 2011 und 2012, Juli 2011, Ende August und Anfang September 2012, teilweise erheblich mehr als 100 m³ Füllwasser nachgefüllt werden musste. Das bestätigen die korrelierenden Niederschlagsmengen in diesem Zeitraum.

In den Monaten Juni und Juli 2012 gab es mit etwa 130-140 l/m² hohe Regenmengen. Im Mai 2011 traten keine Niederschläge auf. Ansonsten lagen die Niederschläge bei 20-40 l/m² pro Monat. Insgesamt gelangten in der Badesaison 2011 ca. 119 m³ Regenwasser in den Naturbadensee. Im Jahr 2012 wurde mit 475 m³ knapp 4-mal so viel Regenwasser eingetragen wie 2011.

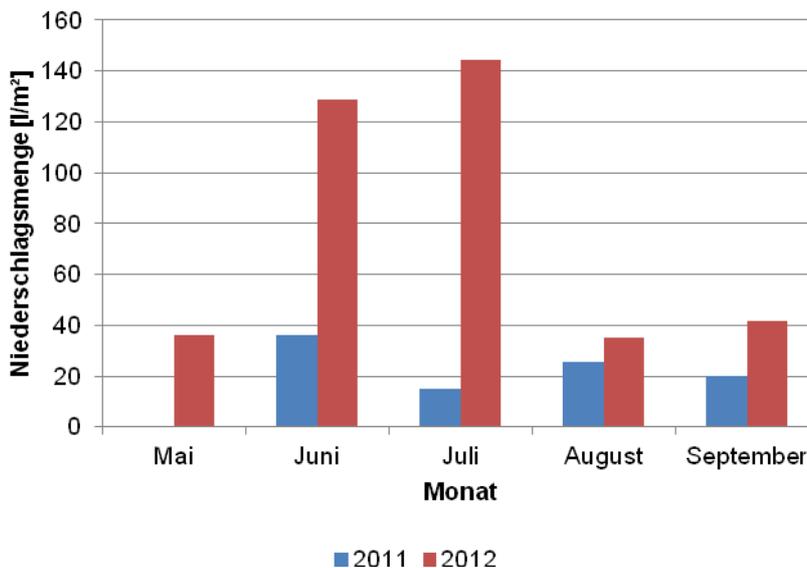


Abb. 28: Niederschlagsmengen der Badesaison 2011 und 2012

Die **hydraulischen Gesamtfrachten** der (Pumpen-)Umwälzung lagen in den ersten beiden Betriebsjahren bei jeweils über 300.000 m³. Den Hauptanteil von über 80% machten dabei die Monate der jeweiligen Badesaison aus (vgl. Tab. 5).

Nährstoffkonzentrationen

Phosphor- und Stickstoff-Verbindungen sind sowohl im Regenwasser als auch im Füllwasser enthalten. Die Konzentrationen der Nährstoffe N und P sind als Mittel- und Medianwerte der *Tabelle 4* zu entnehmen.

Tabelle 4: Median und Mittelwert der Ammonium-N-, Nitrat-N- und P_{ges}- Konzentrationen im Füll- und Regenwasser

	Ø Konzentrationen [mg/l]					
	Ammonium-N		Nitrat-N		P _{ges}	
	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Füllwasser	0,004	0,000	3,55	3,71	0,098	0,102
Regenwasser	0,541	0,343	0,66	0,59	0,157	0,064

Bei erhöhter Niederschlagsmenge und Füllwasserzugabe gelangen beträchtliche Frachten an Phosphor und Stickstoff in das System und müssen über den Regenerations- bzw. Aufbereitungsbereich eliminiert werden.

4.4.2 Nährstoffe (Phosphor, Stickstoff)

Bei den Messwerten für P_{ges} - Gehalt, Ammonium-N- und Nitrat-N- Konzentrationen im Regenwasser traten einige „Ausreißer“ auf. Deswegen wurde zur weiteren Betrachtung der in diesem Fall die Realität besser beschreibende Median genutzt. Da es im Füllwasser keine extremen, stark abweichenden Einzelwerte gab, wurde hier der Mittelwert verwendet. Zur Bestimmung der Nährstofffrachten für Regenwasser und Füllwasser wurden die Mittel- bzw. Median-Werte der Ammonium-N- Konzentration und Nitrat-N- Konzentration zu einer resultierenden N- Konzentration zusammengefasst. In den *Abbildungen 29 bis 32* sind die Frachten für N und P in den Jahren 2011 und 2012 gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass die Mengen der Füllwasserzugabe und des Niederschlages mit den Nährstofffrachten an Stickstoff und Phosphor korrelierten.

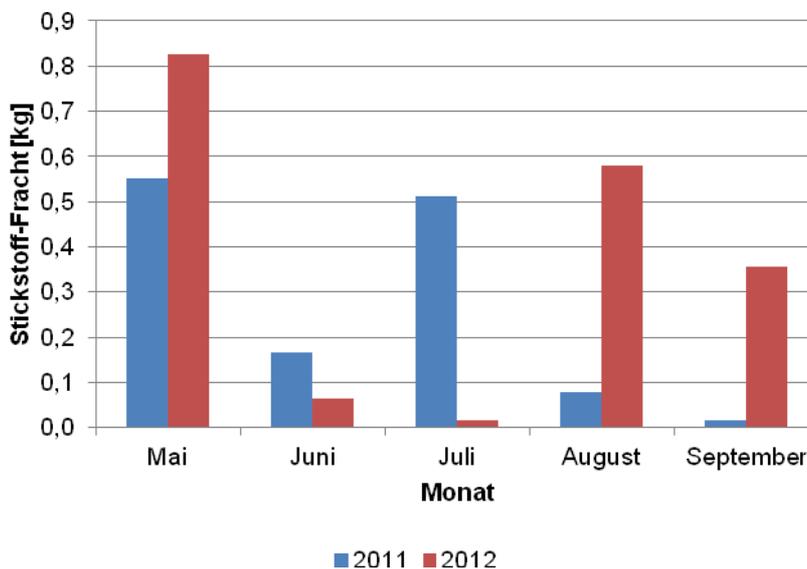


Abb. 29: Stickstoff- Frachten des Füllwassers in der Badesaison 2011 und 2012

In den Jahren 2011 und 2012 gelangten in der Badesaison durch die **Füllwasserzugabe** insgesamt etwa 1,3 kg bzw. 2 kg Stickstoff in das System.

Vor allem im Mai und Juli 2011 sowie im Mai, August und September 2012 wurde ein großer Teil der Stickstoff- Fracht eingetragen. Bedingt durch die hohen Temperaturen im August und September 2012 gelangten knapp 1 kg Stickstoff durch das Füllwasser in den Badeteich. Im September 2011 und im Juni/Juli 2012 waren die Stickstoff- Frachten relativ gering, aufgrund der kühlen Temperaturen und der hohen Niederschlagsmengen (vgl. Abb. 28). Das Füllwasser liefert bei großen Einspeisungsmengen einen enormen Beitrag an Stickstoff.

Die Phosphor- Frachten der Badesaison 2011 und 2012 für das Füllwasser lagen insgesamt bei 0,038 kg bzw. 0,057 kg (vgl. Abb. 30). In den Monaten Mai/Juli 2011 und Mai/August 2012 waren die P_{ges} - Frachten besonders hoch, da mehr Füllwasser eingespeist wurde. Im August/September 2011 und im Juni/Juli 2012 lagen die Frachten teilweise weit unter 0,005 kg.

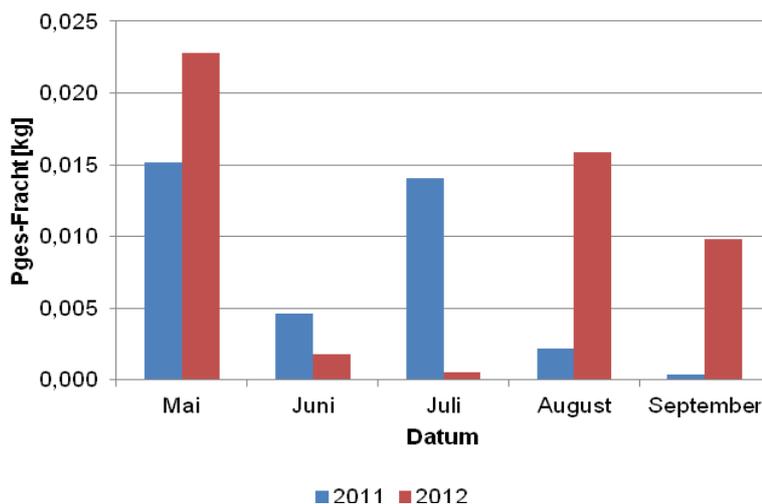


Abb. 30: P_{ges} - Frachten des Füllwassers in der Badesaison 2011 und 2012

Durch die **Niederschläge** in den Monaten Juni und Juli 2012 wurden jeweils mehr als 0,14 kg Stickstoff eingebracht. In den übrigen Monaten lag die N- Fracht bei 0,05 kg oder darunter. Der Stickstoffeintrag durch das Regenwasser ist in der Summe deutlich geringer als durch das Füllwasser (vgl. Abb. 31).

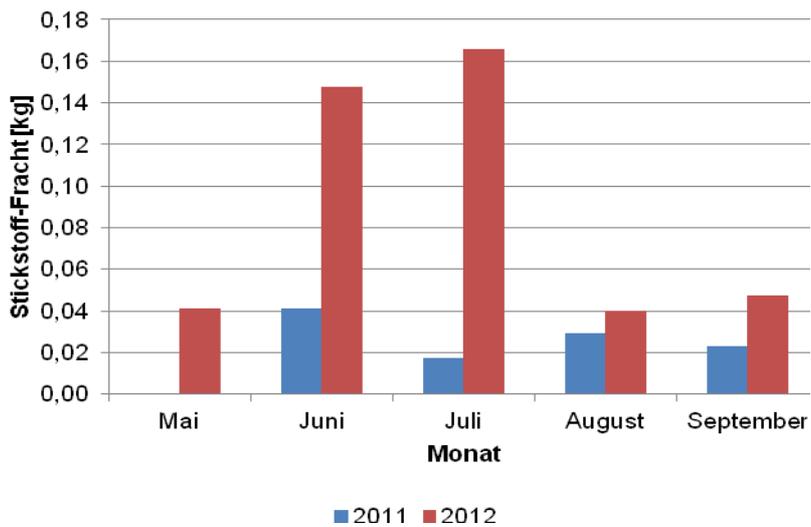


Abb. 31: Stickstoff- Frachten des Regenwassers in der Badesaison 2011 und 2012

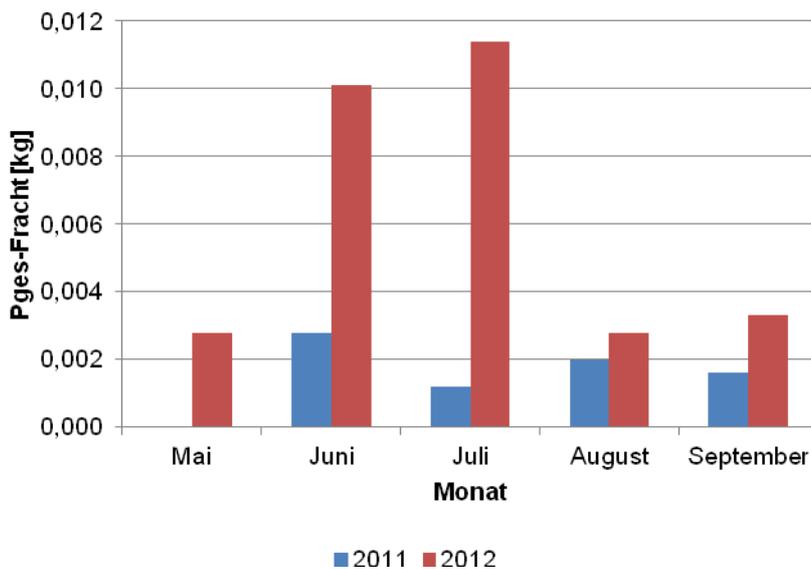


Abb. 32: P_{ges} - Fracht des Regenwassers in der Badesaison 2011 und 2012

Im Juni und Juli 2012 gelangten mit dem Regenwasser jeweils mehr als 10 g Phosphor pro Monat in das Wasser des Naturbadesees (vgl. Abb. 32). Laut *Spieker (2001)* werden pro Hektar und Jahr durchschnittlich 0,3 kg Phosphor aus der Atmosphäre in Gewässer eingebracht [34]. Schon Phosphor- Konzentrationen ab 0,035 mg/l reichen in natürlichen Gewässern zum intensiven Algen- bzw. Cyanobakterienwachstum aus.

Durch 1 mg/l Phosphor können 1 kg Algenbiomasse in einem Gewässer mit einem Volumen von 1000 Liter entstehen [30]. Bei P_{ges} - Konzentrationen über 0,01 mg/l kann intensives Algenwachstum stattfinden.

Die Niederschläge liefern insgesamt, neben dem Eintrag durch die Badenden und der Hintergrundbelastung durch Wasservögel und Kleintiere einen weiteren Nährstoffeintrag in das System. Bei ca. 600 mm Niederschlag pro Jahr und einem medianen P-Gehalt von 0,064 mg/l am „Eisenberg“ bedeuten dies im Mittel etwa 50 g jährlichen Phosphoreintrag in den Badesee.

Der Phosphor- Eintrag durch die Badenden (Zählung) wurde im Rahmen des Forschungsprojektes nicht erfasst, kann aber aus den ermittelten Frachten sowie der über den Filter reduzierten Phosphorfracht abgeschätzt werden.

Tabelle 5: *Hydraulische und Phosphor- Frachten innerhalb der ersten Betriebsjahre sowie der Badesaison 2011 und 2012*

Zeitraum	Mai - Sept. 2011	Mai - Sept. 2012	1. Jahr Mai'11 - Apr.'12	2. Jahr Dez.'11 - Nov.'12
1 hydraulisch [m ³]	253.197	254.044	309.430	302.023
2 Phosphor [kg]	0,759	0,762	0,928	0,906

Die Gesamt-P- Frachten für die ersten beiden Betriebsjahre sowie die jeweilige Badesaison, ermittelt aus den Pumpenlaufzeiten 2011 und 2012, sind in der *Tabelle 5* gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass knapp 1 kg Phosphor über den Aufbereitungsfilter pro Jahr aus dem Badewasser entfernt wurden. Innerhalb der Badesaisons von jeweils Mai – September wurden mit 81,8% bzw. 84,1% die Hauptanteile an Gesamt- P eliminiert.

Der P- Anteil der „geernteten“ Algenbiomasse wurde nicht berücksichtigt. Da es Ende 2012 zu einem technischen Ausfall der Datenerfassungssysteme kam, mussten die (vollen) Betriebsjahre 2011/12 und 2012/13 überlappend betrachtet werden.

4.4.3 „Tonnenversuche“

Innerhalb der Badesaison 2013 wurden am Naturbadesees Kirchheim an drei zeitlich versetzten Versuchstagen insgesamt 34 Badegäste im Rahmen der als „Tonnenversuche“ bezeichneten Untersuchungen auf „ihren“ Keim- und Nährstoffeintrag hin „untersucht“. Dabei ging es um die Fragestellung, welcher konkrete Eintrag von *E. coli* und Phosphor ergibt sich bei einer einmaligen Badewassernutzung. Die Untersuchungen erfolgten in Anlehnung an Erhebungen durch *Scholz et al.* [42]. Hierzu wurden handelsübliche Regenwassertonnen mit einem Volumen von 310 l mit 200 l Badewasser gefüllt, dessen Keim- und P- Gehalt vor der jeweiligen Nutzung bestimmt wurde (Probenahme). Die Personen (maximal 2 – 3 nacheinander) stiegen für ein Zeitminimum von mindestens 2 Minuten (bis maximal 15 Minuten) in die Tonne, um dort möglichst viel Wasser zu bewegen, unterzutauchen und damit ein „Schwimmen“ zu simulieren.

Die teilnehmenden Personen sollten (ausschließlich) ungeduscht an dem Experiment mitwirken. Unter den freiwilligen Versuchsteilnehmern waren 7 Kinder bis zu einem Alter von 10 Jahren, 10 Kinder und Jugendliche von 11 bis 17 Jahren, 12 Erwachsene ab 18 Jahre (bis 50 Jahre) und 5 Erwachsene älter 50 Jahre. An den Versuchen beteiligten sich 29 männliche und (lediglich) 5 weibliche „freiwillige“ Probanden. Pro „Badegast“ ergab sich ein Eintrag von durchschnittlich 150.000 KBE *E. coli* und 6,5 mg Phosphor. Bei *E. coli* schwankten die Zahlen von 0 bis 900.000 KBE. Die P- Gehalte lagen zwischen 0,2 und 70,5 mg.

In den Untersuchungen wurde deutlich, dass der Eintrag von Fäkalbakterien und Phosphor durch Badegäste die Wasserqualität entscheidend beeinflussen kann. Mit der ungeduschten Variante wurde bewusst auf den „almost worst case“ abgestellt, da das 100%-ige Duschen vor Nutzung der Bäder niemals sichergestellt werden kann. Der „worst case“ wäre ein Urinieren beim Baden und ist in Einzelfällen ebenfalls immer gegeben. Bei den hier vorgestellten „Tonnenversuchen“ war dies nicht der Fall. In knapp 80% der Proben war der nach FLL- Richtlinie geforderte Höchstwert unterschritten. *E. coli* ist im Badewasser für eine gewisse Zeit überlebensfähig [41]. Andererseits findet durch das Bakterio- und Zooplankton eine erhebliche Reduzierung der Keimgehalte in Naturbädern statt [13]. Ein Abduschen ist dennoch aus Sicht des vorausschauenden Schutzes der Badegäste notwendig. *Schulz* [43] hat in einer Freilandstudie einen mittleren P- Eintrag pro Badegast und –tag von 94 mg ermittelt. Unter der Berücksichtigung des Urinierens einzelner Badegäste kann dieser Wert gegenüber den hier dargestellten 6,5 mg durchaus realistisch sein. Die von *Scholz et al.* [42] ermittelten 0,19 mg Phosphor pro Badegast erscheinen zu niedrig, wohingegen die Keimzahlen von 120.000 *E. coli* die im Forschungsprojekt gefundenen 150.000 KBE stützen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Naturnahe Schwimm- und Badeteiche sind künstlich angelegte Freibäder mit einer biologischen Wasseraufbereitung. Durch den Verzicht auf Desinfektionsmittel stellt ein Naturbadesee eine umweltbewusste und interessante Erholungs- und Sportmöglichkeit dar. Die eingebrachten nährstoffseitigen und hygienischen Belastungen müssen zuverlässig eliminiert werden, um eine Gesundheitsgefährdung des Badenden auszuschließen. Dem Filterkörper kommt damit eine elementare Bedeutung zu.

Ausgehend von der Zielstellung, die Hygieneparameter und Nährstoffeinträge in einem Naturbadesees zu untersuchen, wurden die überwachten physikalischen, chemischen und hygienisch-mikrobiologischen Parameter im Rahmen dieser Arbeit dargestellt und bewertet. Wichtig war bei der Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse die Einhaltung der geforderten Höchstwerte nach der FLL-Richtlinie 2011. Besonderes Augenmerk wurde auf den Eintrag und die Eliminierung des Nährstoffes Phosphor gelegt. Bereits bei geringen Höchstwertüberschreitungen können Algen und Cyanobakterien einen enormen Wachstumsschub erfahren. Phosphor wird größtenteils über Badegäste, Wasservögel und Kleintiere in das Badewasser eingetragen. Erstmals wurde mit dieser Arbeit der Nährstoffeintrag (P/N) des Niederschlages und des Füllwassers im Zusammenhang mit Naturbädern näher untersucht.

Die Einhaltung der Anforderungen an die Hygieneparameter war der entscheidende gesundheitlich relevante Aspekt zur Bewertung des Badesees Kirchheim. Hierfür wurde die Leistung der Keimeliminierung des Filterkörpers untersucht und ausgewertet. Es ist zu beachten, dass auch der UV- Anteil des Sonnenlichts einen Beitrag zur Entkeimung des Wassers leistet [14]. Zu welchen Anteilen die Keimeliminierung durch das UV-Licht und durch den Filterkörper erreicht wird, wurde noch nicht näher untersucht.

Die Anlage wies bezüglich der nährstofflichen und hygienischen Belastungen eine hohe Betriebsstabilität und Sicherheit auf. Die geforderten Höchstwerte der Nährstoffe Phosphor, Nitrat-N und Ammonium-N sowie der Indikatorbakterien *E.coli* und *Enterokokken* wurden nahezu ausnahmslos eingehalten. *Pseudomonas aeruginosa* trat nicht auf. Insbesondere im zweiten Jahr (2012) konnte eine hohe Stabilität der relevanten Parameter erreicht werden.

Nach der Inbetriebnahme der Anlage 2011 brauchten der Biofilm des Filterkörpers und die Wasserpflanzen einige Zeit um sich etablieren zu können (Einfahrphase). Im oligotrophen System Badeteich bauen sich Biofilme langsamer auf und bestehen zu großen Anteilen aus autotrophen Bakterien [31].

Durch weitere Untersuchungen im Jahr 2013 ließ sich die Tendenz absichern, dass die Effizienz und Reinigungsleistung des Filterkörpers stabil ist.

Mit dem jährlichen Füll- und Niederschlagswasser können Phosphorfrachten von bis zu 50 g in den Schwimmteich eingetragen werden. In den zwei niederschlagsreichen Monaten Juni und Juli 2012 gelangten jeweils über 10 g Gesamt-Phosphor in den Badesee. Desweiteren ist ein Phosphor-Eintrag durch die Luft (Windbewegung) immer gegeben. Dieser Aspekt wurde aber in der Arbeit nicht weiter betrachtet.

Die Kalkulationen zu den Gesamtphosphor- Frachten zeigten, dass knapp 1 kg Phosphor über den Aufbereitungsfilter pro Jahr aus dem Badewasser entfernt wurden. Die hydraulischen Gesamtfrachten lagen in den ersten Betriebsjahren bei jeweils über 300.000 m³. Den Hauptanteil von über 80% machten die Monate Mai bis September der jeweiligen Badesaison aus.

Die Probenahme außerhalb der Badesaison bzw. bei ungünstigen Wetterbedingungen (z.B. kühle Temperaturen) bestätigte eine nahezu immer gegebene Hintergrundbelastung. Die Hintergrundbelastungen durch den Regen- und Lufteintrag sowie die hygienischen und nährstoffseitigen Einträge durch den „Tierbesuch“ können nicht vermieden werden. Bei der Bestimmung der Hygieneparameter wird nicht auf die „tierische“ oder „menschliche“ Herkunft der Keime differenziert.

In den „Tonnenversuchen“ ergaben sich bei einmaliger Badewassernutzung Einträge von durchschnittlich 6,5 mg Phosphor und $1,5 \times 10^5$ KBE *E. coli* pro Badegast.

Freibäder mit biologischer Wasseraufbereitung können eine sichere Alternative zu den konventionellen, mit Chlor desinfizierten Bädern sein. Immerhin leiten sich von der Chlorung auch unterschiedliche Nebenwirkungen ab [35].

Literaturverzeichnis

- [1]. **Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL).** *Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm- und Badeteiche).* Bonn : Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), 2011.
- [2]. **Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau.** *Fachwissenschaftliche Begleitung des Modellprojektes "Umbau von konventionellen Freibädern in ein Naturbad" in Schöllkrippen, Stamsried und Nordhalben.* [PDF] Veitshöchheim : s.n., 2008.
- [3]. **Bundesministerium der Justiz.** www.gesetze-im-internet.de. [Online] [Zitat vom: 30. 5 2013.]
- [4]. **Hoffmann, Sabine.** Die gesetzliche Situation zur Wasserqualität in Schwimmteichen. *Stadt + Grün - Das Gartenamt.* 2003, 09.
- [5]. **Umweltbundesamt.** *Hygienische Anforderungen an Kleinbadeteiche (künstliche Schwimm- und Badeteichanlagen).* [PDF] 2003.
- [6]. **Schulz, Liselotte.** Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste. s.l. : Zentralblatt der Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene, 1981. Bd. 173.
- [7]. **Umweltbundesamt.** *Hygieneanforderungen an Bäder und deren Überwachung.* [PDF] 9. 2006.
- [8]. **Baumhauer, Jörg und Schmidt, Carsten.** *Schwimmteichbau.* s.l. : Patzer-Verlag, Berlin-Hannover, 2008.
- [9]. **Kulle, Peter.** Pathogene Keime und Infektionsrisiko. *Der Schwimmteich.* 2005, 1.
- [10]. **Kulle, Peter.** Pseudomonas aeruginosa - der Problemkeim. *Der Schwimmteich.* 2005, 3.
- [11]. **Nowicki, Stefan.** Algenplagen - Ursachen, Bekämpfung und Vermeidung. *Der Schwimmteich.* 2004, 3.
- [12]. **Schäfer, Robert.** Phosphordynamik in naturnahen Schwimm- und Badeteichen. Weimar : s.n., 2005.
- [13]. **Eydeler, Inga; Spieker, Jürgen; KLS Gewässerschutz Hamburg.** *Keimelimination durch Zooplankton.* [PDF] Hamburg : s.n., 2010.
- [14]. **Mahabadi, Mehdi und Rohlfing, Ines Maria.** *Schwimm- und Badeteichanlagen - Planungs- und Baugrundsätze.* s.l. : Verlag Eugen Ulmer, 2008.

- [15]. **Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL)**. *Empfehlungen für Planung, Bau, Pflege und Betrieb von Pflanzenkläranlagen (naturnahe Klärverfahren mit Pflanzenbewuchs)*. Bonn : Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), 2007.
- [16]. **Rump, Hans Hermann und Krist, Helmut**. *Laborhandbuch für die Untersuchung von Wasser, Abwasser und Boden*. s.l. : VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1992.
- [17]. **DIN 38404 (Teil 4)**. *Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen - Bestimmung der Temperatur*. 1976.
- [18]. **Kulle, Peter**. *Untersuchungstagebuch Naturbadesee Kirchheim 2011-2013*.
- [19]. **Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH (WTW)**. *Messtechnik für Labor & Umwelt*. [PDF] 2012.
- [20]. **DIN 19261**. *pH-Messung - Messverfahren mit Verwendung potentiometrischer Zellen - Begriffe*. 2005.
- [21]. **DIN EN 27888**. *Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit*. 1993.
- [22]. **Wissenschaftlich- Technische Werkstätten GmbH (WTW)**. *Bedienungsanleitung Portables Leitfähigkeits-Messgerät Cond 197i*. 2005.
- [23]. **Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH (WTW)**. *Leitfähigkeitsmessung - Konduktometer - Die elektrische Leitfähigkeit*. [PDF]
- [24]. **Quentin, Karl-Ernst**. *Trinkwasser - Untersuchung und Beurteilung von Trink- und Schwimmbadwasser*. s.l. : Springer-Verlag, 1988.
- [25]. **MFPA Arbeitsanweisung QM 33 V 029**. *Bestimmung von Phosphor (photometrisch)*. Weimar : s.n., 1995.
- [26]. **DIN 38406 (Teil 5)**. *Kationen - Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs*. 1983.
- [27]. **MFPA Arbeitsanweisung QM 33 V 024**. *Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs*. 1995.
- [28]. **Dr. Möller & Schmelz GmbH**. *Gebrauchsanweisung - Nährkartonscheiben*. Göttingen : s.n., 2011.
- [29]. **Flohre, Sebastian und Brunkhorst, Mario**. *Rechnergestützte Simulation einer Badesaison in Naturfreibädern*. *Stadt + Grün - Das Gartenamt*. 2004, 09.
- [30]. **Habeck, Doris**. *Sommerzeit ist Algenzeit - das muss nicht sein !*. *Schwimmteich & Naturpool*. 2012, 03.
- [31]. **Kulle, Peter**. *(Eigene Erfahrungen aus verschiedenen Projekten)*.
- [32]. **Hoffmann, J**. *Ursachen und Folgen der Eutrophierung von Gewässern*. Gießen : Ergebnisse landwirtschaftlicher Forschung an der Justus-Liebig-Universität, 1972.

- [33]. **Nehring, D. und Wilde, A.** Untersuchungen über den atmosphärischen Nährstoffeintrag in die Ostsee. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*. 1982, 10.
- [34]. **Spieker, Jürgen.** Ökologische Grundlagen stehender Badegewässer. *Archiv des Badewesens*. 2001, 3.
- [35]. **Kim, H., Shim, J. und Lee, S.** Formation of disinfection by-products in chlorinated swimming pool water. *Chemosphere*. 2002, 46.
- [36]. **Reemtsma, Thorsten und Jekel, Martin.** *Organic Pollutants in the Water Cycle*. Weinheim : WILEY-VCH Verlag, 2006.
- [37]. **Polyplan GmbH Ingenieurbüro für Energie- und Umwelttechnik.** Ilse-ter Meer Weg 7, 30449 Hannover : s.n., 2013.
- [38]. **Zeller GmbH.** *Bedienungsanleitung - Taschengerät Oxi 315i*. [PDF] Hohenems Oberklien : s.n., 2004.
- [39]. **DIN EN ISO 5814.** *Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des gelösten Sauerstoffs - Elektrochemisches Verfahren* . 2013.
- [40]. **Kulle, Peter.** ... und alles Wasser im Strom wurde in Blut verwandelt! *Der Schwimmteich*. 2005, 2.
- [41]. **Heinemeyer, E. August.** Vom Kleinbadeteich bis zur Nordsee. Internat. Kongress für naturnahe Badegewässer, 19. – 21.09.2001, Geisenheim
- [42]. **Scholz, I., K. Grüne, U. Brüdern, H. Frehse, S. Bruns, J. Spieker, S. Kunst.** Bestimmung des Nährstoff- und Keimeintrags durch Badegäste in kommunalen Schwimm- und Badeteichanlagen (*unveröffentlicht*).
- [43]. **Schulz, L.** Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste. *Zbl. Bakt. Hyg. I Abt. Orig. B* 173, S. 528 – 548, 1981.

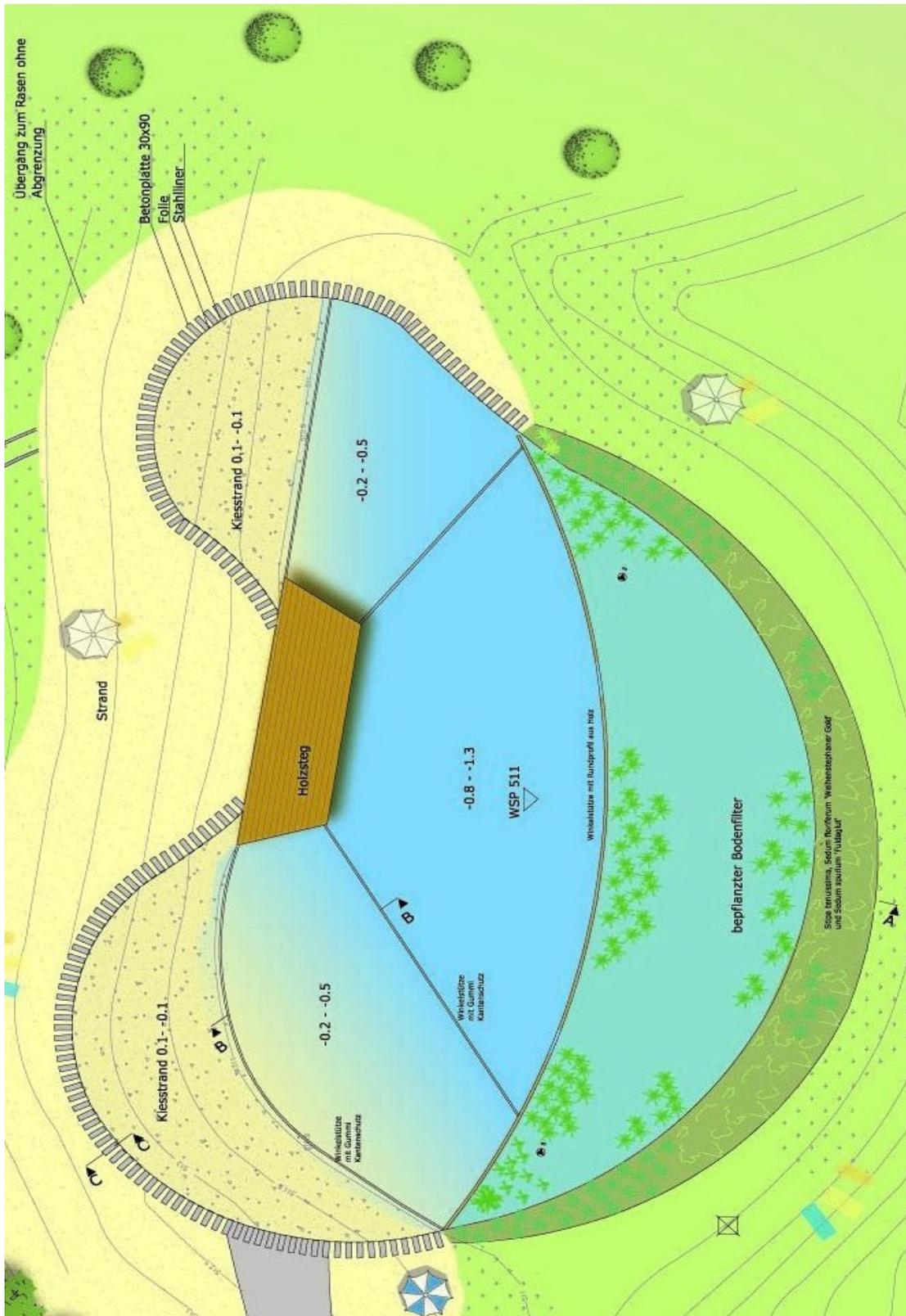
Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Aqua dest.	destilliertes Wasser
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
ca.	circa
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DIN	Deutsche Industrie-Norm
el. Leitfähigkeit	elektrische Leitfähigkeit
EN	Europäische Norm
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Land- schaftsbau
ggf.	gegebenenfalls
IfSG	Infektionsschutzgesetz
ISO	International Standardizing Organization
KBE	Koloniebildende Einheit
N	Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium-Ion
NH ₄ OH	Ammoniumhydroxid
NN	Normalnull
P	Phosphor
P _{ges}	Gesamt- Phosphor
P. aeruginosa	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>

Tab.	Tabelle
Trinkwv.	Trinkwasserverordnung
UV	Ultraviolett
v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VIS	Visible
WTW	Wissenschaftlich Technische Werkstätten
z. B.	zum Beispiel

Anhang

Anhang 01: Entwurfsplan des Badesees [37]



Anhang 02:

Tabelle 6: *Besondere Ereignisse und Auffälligkeiten am Badensee im Beprobungszeitraum*

Datum	Ereignis
09.06.11	Algen in der Flachwasserzone, Vogelkot auf Schachtdeckeln, Beobachtung von Bachstelze
29.06.11	erste kompakte Grünalgen-Kolonien in der Flachwasserzone
07.07.11	grüne Algenkolonien in der Flachwasserzone, Vogelkot auf Schachtdeckeln
14.07.11	viele Algenkolonien in der Flachwasserzone, Pfützen auf 2 von 3 Schachtdeckeln
15.08.11	mehrere kleine Algenkolonien auf dem Grund des Badebeckens
20.08.11	Algenkolonien aus Flachwasserzone und Badebecken heraus gesammelt
14.05.12	Grünalgen in Flachwasserzone
23.05.12	starke Algenbildung in der Flachwasserzone, auf der Wasseroberfläche des Flachwassers : Pollen/Samen/Insekten, Wildenten gesichtet
29.05.12	wenige Algen aus dem Badeteich entfernt
13.06.12	abgesunkene Algenkolonien im Flachwasser, einige wenige junge Kolonien auf der Oberfläche
26.06.12	Algenwachstum im Badebecken (kleine „Nester“)
04.07.12	in Flachwasserzone starke Algenbildung und –vermehrung
11.07.12	Entfernung von viel Algenmaterial aus der Flachwasserzone
19.07.12	starkes Algenwachstum in der Flachwasserzone
26.07.12	Probenahme während intensiver Badenutzung, massive Algenentwicklung in der Flachwasserzone, sehr warm
03.08.12	Grünalgenentfernung aus dem Badebeckenwasser und dem Flachwasser
07.08.12	Algen in Flachwasserzone (teilweise abgesunken)

14.08.12	starke Algenentwicklung in der Flachwasserzone, Einspeisung von viel Füllwasser, warme Tage, kein Regen
23.08.12	Zuckmückenlarven in der Flachwasserzone, intensiver Vogelbesuch, Vogelkot auf Schachtdeckeln
29.08.12	auffällig starker Rückgang der Algen, starker Rückgang der Zuckmückenlarven
05.09.12	starker Rückgang der Algen, intensiver Vogelbesuch
13.09.12	nach Regen neuer Algen- Wachstumsschub (zahlreiche neue Algenkolonien)
19.09.12	starke Algenentwicklung um den Füllstein in der Flachwasserzone und erste sichtbare junge Kolonien an der Wasseroberfläche des badebeckens
01.10.12	starke Algenentwicklung im Flachwasser (vor allem um den Füllstein)
26.10.12	Algen waren besonders um den Füllstein und die Probeentnahmeschächte vertreten und dort mit Wasserpflanzen vergesellschaftet
17.04.13	Algenvorkommen vor allem in der Flachwasserzone, einzelne Kolonien im Badebecken (auf dem Grund/Sediment)
16.05.13	Pollenflug (Pollen auf der Wasseroberfläche der Flachwasserzone), beginnend stärker Algenentwicklung im Flachwasser
28.05.13	einige größere Kolonien im Badebecken (seit Saisonbeginn etwas gewachsen; Ernte notwendig), in der Flachwasserzone stärkere Algenentwicklung
03.06.13	starke Algenentwicklung in der Flachwasserzone
13.06.13	durch Erwärmung wieder stärkeres Wachstum von Algen im Badebecken, starke Algenentwicklung in der Flachwasserzone
20.06.13	intensive Algenernte
28.06.13	nach Ernte waren Algen im Badebecken sehr gut beräumt

Anhang 03: *Umrechnung der geforderten Höchstwerte für Ammonium und Nitrat in Ammonium- N und Nitrat- N*

geforderte Höchstwerte:

<u>Badebecken:</u>	Ammonium (NH_4^+)	= 0,3 mg/l
	Nitrat (NO_3^-)	= 30 mg/l
<u>Füllwasser:</u>	Ammonium (NH_4^+)	= 0,5 mg/l
	Nitrat (NO_3^-)	= 50 mg/l

molare Masse (M):

$M(\text{NH}_4^+)$	= 14,007 g/mol + 4 * 1,008 g/mol	= 18,039 g/mol
$M(\text{NO}_3^-)$	= 14,007 g/mol + 3 * 15,999 g/mol	= 62,004 g/mol

Anteil von Stickstoff an der Gesamtverbindung:

Ammonium-N:	14,007/18,039
Nitrat-N:	14,007/62,004

umgerechnete geforderte Höchstwerte:

Badebecken:

Ammonium-N	= 14,007/18,039 * 0,3 mg/l	= 0,2 mg/l
Nitrat-N	= 14,007/62,004 * 30 mg/l	= 6,8 mg/l

Füllwasser:

Ammonium-N	= 14,007/18,039 * 0,5 mg/l	= 0,4 mg/l
Nitrat-N	= 14,007/62,004 * 50 mg/l	= 38,8 mg/l

Naturbadesee Kirchheim Energetische Betrachtung



Auftraggeber	Landeshauptstadt Hannover Ihmeassage 7 30449 Hannover
Fachplanung	Polyplan GmbH Überseetor 14 28217 Bremen
Bearbeiter Betriebsanleitung Stand	Sebastian Flohre, Hannes Kurzreuther September 2013

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	4
3	Hauptteil	4
3.1	Objektbeschreibung	4
3.2	Wasseraufbereitung	5
3.3	Maßnahmen zur Energiebedarfsreduzierung	7
3.3.1	Reduzierung der Umwälzleistung	7
3.3.2	Reduzierung des Druckverlusts in den Rohrleitungen	8
3.3.3	Reduzierung des Druckverlust bei der Eindüsung	8
3.3.4	Reduzierung des Höhenunterschiedes	9
3.3.5	Verwendung von Pumpen mit geringem Energiebedarf	9
3.4	Maßnahmen zur Nutzung von Solarenergie	9
4	Auswertung der Ergebnisse	11
4.1	Energetische Auswertung	11
4.2	Ist die Reduzierung des Strombedarfes der Anlage gelungen?	13
4.3	Konnte der Großteil der benötigten Energie über die Photovoltaikanlage zur Verfügung gestellt werden?	14
4.4	Hygienische physiko-chemische Auswertung	14
4.5	Vergleich verschiedener Wetterphasen	16
4.6	Was gab es sonst für Probleme?	19
5	Fazit	20
5.1	Ausblick und Verbesserungspotential	20
6	Anhang	21

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1 Auslegung der Wasseraufbereitung gem. FLL (2003)	7
Tab. 2 Monatsbilanz	10
Tab. 3 Physiko-chemische und hygienische Auswertung (b.G.=bis Grund).....	15

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1 Naturbad Kirchheim	5
Abb. 2 Submerser Bodenfilter mit darüber gelegener Aquakultur	5
Abb. 3 Soll+Ist Vergleich der Beschickungshöhe	10
Abb. 4 Energiebilanz mit Berücksichtigung der Akku Ladekapazität und der Pumpensteuerung	11
Abb. 5 Betriebsstunden Pumpen, Füllwasser und Netzeinspeisung.....	12
Abb. 6 Verhältnis Strombedarf und Stromeinspeisung	13
Abb. 7 Wassertemperatur, Akkuleistung, Anlagenleistung und Betriebsstunden Netzeinspeisung während Winterbetrieb Oktober 2011	16
Abb. 8 Wassertemperatur, Akkuleistung, Anlagenleistung und Betriebsstunden Netzeinspeisung während einer Schlechtwetterphase Mai 2012.....	17
Abb. 9 Wassertemperatur, Akkuleistung, Anlagenleistung und Betriebsstunden Netzeinspeisung während einer Schlechtwetterphase Mai 2013.....	18
Abb. 10 Wassertemperatur, Akkuleistung, Anlagenleistung und Betriebsstunden Netzeinspeisung während einer Schönwetterphase August 2012	19
Abb. 11 Hydraulikschema	21

1 Zusammenfassung

Beim Bau des Naturbadesees Kirchheim wurde versucht, durch bautechnische Maßnahmen den Energieverbrauch so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig wurde eine Photovoltaikanlage geplant, um den benötigten Strom für die Pumpen, die für die Wasseraufbereitung benötigt werden, aus regenerativen Quellen zu speisen. Zum einen wird der Bau des Bades beschrieben und zum anderen werden Ergebnisse aus den ersten beiden Betriebsjahren vorgestellt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine Minimierung des Energieaufwandes und eine Bereitstellung des Großteils des Energiebedarfs durch eine PV-Anlage gelungen sind.

2 Einleitung

Naturfreibäder und Kleinbadeteiche stellen die umweltbewusste Alternative zum konventionellen Beckenbad dar. Dies gilt jedoch nicht immer und ohne Einschränkungen für die Energiebilanzen dieser Bäder. Das öffentliche „Nullenergie Bad“ soll aufzeigen, dass hier tragbare Konzepte wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll und machbar sind. Dies erfolgt zum einen durch eine Reduzierung des Strombedarfs auf ein nötiges Minimum und zum anderen durch eine örtliche Stromproduktion und Zwischenspeicherung durch Photovoltaikmodule.

3 Hauptteil

3.1 Objektbeschreibung

Auf dem Gelände des Feriendorfes Eisenberg wurde im Jahr 2010/2011 ein Badesee errichtet. Die Inbetriebnahme fand im Mai 2011 statt.

Das Nichtschwimmerbecken besteht aus einem halbkreisförmigen Bereich mit einem mittigen Holzsteg. Auf der gegenüberliegenden Seite im tieferen Bereich befindet sich eine senkrechte Wand aus Winkelstützen. Diese Trennwand ist mit einem Überlaufprofil aus Holz abgedeckt. In die Trennwand sind 3 Vertiefungen eingelassen, die als kontinuierlicher Überlauf zu einem submersen Bodenfilter (Abb. 2) dienen. Das Nichtschwimmerbecken läuft zum Strandbereich flach aus. Der im Wasser befindliche Strandbereich ist mit Sand (Körnung 0,5/ 2 mm) aufgefüllt. Im Tiefenbereich wurde Kies 2/5 mm mit einer Auflage von 0,3 bis 0,1 m Mächtigkeit verbaut. Das Becken wurde mit einer 2 mm PEHD-Kunststoffdichtungsbahn abgedichtet. Die Abdichtung verläuft in einer Bahn unterhalb des Beckens und des überstauten Bodenfilters sowie des Strandes. Aus Sicherheitsgründen wurde auf einen Schwimmerbereich verzichtet.



Abb. 1 Naturbad Kirchheim

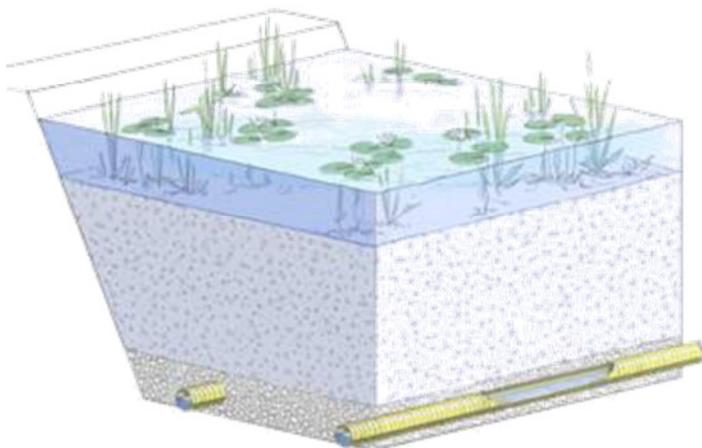


Abb. 2 Submerser Bodenfilter mit darüber gelegener Aquakultur

3.2 Wasseraufbereitung

Das abgebadete Wasser strömt an drei abgesenkten Überlaufkanten über die Trennwand in den Wasserkörper (Aquakultur) des überstauten Bodenfilters (submerser Bodenfilter).

Das Wasser passiert den unter der Aquakultur liegenden Bodenfilter und wird über Dränagen in die im Filterkörper befindlichen Pumpenschächte S1-S3 geleitet. In diesen Schächten befindet sich jeweils eine Propellerpumpe, die das Reinwasser über eine Einleitungsstelle wieder zurück in den Nutzungsbereich fördert.

Zudem befindet sich im Filter ein Notüberlauf für überschüssiges Wasser. Dieser Notüberlauf entwässert in den Grabenlauf 50 m östlich des Badesees. Oberhalb des Beckens ist zudem eine Dränage verlegt, die das Hangwasser in die gleiche Einleitungsstelle des Grabens leitet.

Über den Wasserstandsensor in Schacht S1 kann der Wasserstand im See ermittelt werden, wenn die Pumpe nicht läuft. Sollte der festgelegte Normwasserstand unterschritten sein, wird über den Quellstein automatisch Leitungswasser zugespeist. Die Nachspeisung wird über ein Magnetventil in der Trinkwasserleitung im Keller geregelt. Ein Fließschema der Wasseraufbereitung findet sich im Anhang.

Die gesamte Wasseraufbereitung wird über eine zentrale SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) gesteuert. Hier gehen alle Führungsgrößen und Meldungen ein. Es lassen sich zwei Hauptfunktionen charakterisieren:

1. Berechnung des momentanen Reinwasserbedarfes
2. Spezifische Steuerung der Filteranlage

Als Führungsgröße zur Bestimmung der erforderlichen Filterleistung wird die Wassertemperatur verwendet. Alle Messwerte, Fehlermeldungen und Steuersignale laufen über ein AS-Interface Kommunikationssystem in der SPS zusammen und können über ein Ferndiagnosesystem überwacht werden.

Die SPS steuert die Anlage über drei Betriebsarten:

- Normalbetrieb: In diesem Modus befindet sich die Anlage, sobald Luft- und Wassertemperatur einen Betrieb der Wasseraufbereitung zulässt ($>5^{\circ}\text{C}$). Die Filterleistung wird automatisch über die Wassertemperatur von der SPS berechnet. Die Anlage läuft somit immer im optimalen Betrieb.
- Anlagenlastanpassung: Nachts, bzw. bei schlechtem Wetter soll die Leistung deutlich reduziert werden, damit der Ladregler möglichst wenig genutzt wird.
- Wartungs-, bzw. Winterbetrieb: Wenn die Pumpen abgestellt werden sollen, kann dieser Betrieb am Display gewählt werden. Die Pumpen laufen zum Pumpen-/Rostschutz nur noch um eine Minimalumwälzung im Filter zu erreichen. Die Anlage darf daher im Winter nicht stromlos gestellt werden und errechnet auch im Winter eine niedrige Anlagenleistung. Ansonsten würde es im Filter durch Sauerstoffmangel zu Rücklösungen von Nährstoffen kommen.

Die Auslegung der Wasserreinigung ist für eine Nennbesucherzahl von 254 Personen pro Tag erfolgt. Details zur Dimensionierung finden sich in Tab. 1.

Tab. 1 Auslegung der Wasseraufbereitung gem. FLL (2003)

Daten	Naturbad Feriendorf Eisenberg	
Submerser Bodenfilter		
Fläche	375	m ²
Filterhöhe	1.2	m
Volumen	450	m ³
Beschickungshöhe (standard)	1	m ³ /Tag
Beschickungshöhe (max)	5	m ³ /Tag
Reinigungsleistung (standard)	375	m ³ /Tag
Reinigungsleistung (max)	1,875	m ³ /Tag
Berechnungsvolumen	2,055	m ³ /Tag
Füllwasser	0.83	m ³ /Std.
Volumen (max)	20	m ³ /Tag
Beckenvolumen		
Fläche	955	m ²
Volumen	955	m ³
Gesamtbilanz		
Berechnungsvolumen	3,030	m ³ /Tag
Reinigungsvolumen (max)	1,875	m ³ /Tag
Nennbesucherzahl	254	Personen

3.3 Maßnahmen zur Energiebedarfsreduzierung

Die wichtigste Maßnahme im Rahmen des Energiekonzeptes stellt die Umsetzung und Planung eines möglichst geringen Energiebedarfes der Anlage dar. Dies wurde über folgend aufgeführte Maßnahmen realisiert.

3.3.1 Reduzierung der Umwälzleistung

Es wurde versucht die Gesamtumwälzleistung des Badesees so weit wie möglich zu reduzieren. Gleichzeitig musste jedoch die Einhaltung aller hygienerlevanten Parameter garantiert werden. Da die hygienische Sicherheit ein noch höheres Gut als der geringe Energiebedarf darstellt, wurden die hygienischen Parameter parallel untersucht und die Leistung wurde erst nach und nach reduziert. Die notwendige Filterbeschickungshöhe des Nassfilters beträgt im Nennbetrieb, also in den Monaten Mai bis August 5 mWs/m²/d (vgl.

Tab. 1). Diese entspricht 1875 m³/Tag. Dieser Volumenstrom muss möglichst energieeffizient pro Tag gereinigt werden. Da die FLL einen badegastspezifischen Volumenstrom vorgibt, kann diese Beschickung nicht beliebig reduziert werden. Die Leistung kann jedoch in Schlechtwetterphasen runterreguliert werden, da in diesen Phasen ohnehin weniger Besucher kommen. Außerdem wurde

die Anlagenleistung in den Nachtstunden reduziert. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, weil bei Schlechtwetter und in den Nachtstunden wenig oder gar keine Energie über die Photovoltaikanlage bereitgestellt werden kann. Daher wurde die Anlagenleistung in Abhängigkeit der Wassertemperatur geregelt. In wie weit diese Absenkung möglich ist, wurde im Rahmen dieses Projektes überprüft.

Außerdem wurde die Leistung außerhalb der Badesaison weitestgehend zurückgefahren. Hierzu gab es allerdings zwei Ausnahmen. So muss der Filter 3-4 Wochen vor Beginn der neuen Badesaison wieder hochgefahren werden. Dies ist notwendig, damit der Biofilm im Filter, über den die Aufnahme der Algen und Keime läuft, sich regenerieren und nach dem Winter wieder langsam aufbauen kann, bis er die notwendige Leistungsfähigkeit erreicht. Darüber hinaus muss im Winter eine Minimalumwälzung gewährleistet werden. Wenn im Winter keine Umwälzung erfolgen würde, würden sich aufgrund der Temperaturen durch langsame, aber fortlaufende Zersetzungsprozesse der Biomasse anaerobe Verhältnisse im Filterkörper einstellen. Dadurch würde es zu Rücklösungen der bereits gebundenen Phosphate kommen, die im Frühjahr wieder durch eine erhöhte Umwälzleistung gebunden werden müssten. Daher musste für alle Phasen außerhalb der Badezeiten (Schlechtwetter, nachts, außerhalb Badesaison) ein optimales Mittelmaß zwischen den Mindestanforderungen und der Energieersparnis gefunden werden. Insbesondere da gerade in diesen Situationen auch mit deutlich geringeren solaren Energiegewinnen über die Solarmodule zu rechnen ist.

Die Regelung der Pumpen erfolgt einerseits über die Laufzeitlänge, andererseits aber auch über die Frequenz der Pumpen.

3.3.2 Reduzierung des Druckverlusts in den Rohrleitungen

Um den Druckverlust zu minimieren, müssen mehrere Faktoren bedacht werden. Rohre müssen kurz gehalten werden und es müssen so wenig Bögen und T-Stücke wie möglich verwendet werden. Durch die beschriebene Beschickung des Filters im Freispiegel wurden für den Vorlauf schon mal keine Pumpen benötigt. Zudem musste durch das gleiche Höhenlevel von Filter und See keine energiebedarfsstarke Rückschlagklappe eingebaut werden.

Um überflüssige Formteile zu sparen, wurde das Reinwasser über drei Pumpen direkt zu jeweils einer separaten Eindüsung geführt. Außerdem wurden die wenigen zwingend benötigten Bögen für die Durchführung der Reinwasserleitung unter dem Becken in druckverlustarmen 45°-Bögen ausgeführt.

3.3.3 Reduzierung des Druckverlust bei der Eindüsung

In konventionellen Bädern entsteht bei den Eindüsungen ein großer Druckverlust, weil das Wasser mit einer hohen Geschwindigkeit eingedüst wird. Durch diesen Impuls soll eine gleichmäßige Durchströmung sichergestellt und Totwassergebiete vermieden werden.

Das Bad wurde so konstruiert, dass kein großer Impuls für eine Durchströmung benötigt wird. Der Badesee ist halbkreisförmig angeordnet, der Abzug des abgebadeten Rohwassers erfolgt über die

komplette Längsseite. Das Reinwasser von den Pumpen hingegen wird auf der gegenüberliegenden Seite in drei verschiedene Richtungen so angeordnet, dass alle Bereiche möglichst gleichförmig durchströmt werden.

3.3.4 Reduzierung des Höhenunterschiedes

Um die Beschickung des Filters so energieeffizient wie möglich zu gestalten, wurde ein submerser Bodenfilter geplant, der im Freispiegel mit dem Becken kommuniziert. Hier kann das Wasser direkt nachlaufen, ohne dass Pumpen benötigt werden. Für das Reinwasser muss zudem, abgesehen von einer minimalen Wasserstandsabsenkung durch den Pumpenbetrieb, im Schacht kein Höhenunterschied überbrückt werden.

3.3.5 Verwendung von Pumpen mit geringem Energiebedarf

Pumpen, die normalerweise in Naturbädern eingesetzt werden, haben zumeist eine Kennzahl von ca. 30 (20-25m³/h pro KW).

Im Badesees im Feriendorf wurden Propellerpumpen eingesetzt, die einen ausreichenden Volumenstrom sehr energieeffizient bei geringen Förderhöhen befördern können. Die verwendeten Propellerpumpen haben eine Kennzahl von 110 (55m³/h pro 0,15KW) und sind somit sehr sparsam und effizient.

3.4 Maßnahmen zur Nutzung von Solarenergie

Um das Bad mit regenerativem Strom zu speisen, wurde eine Photovoltaik Anlage installiert. An diese wurden 3 Motorsteuerungen angeschlossen, die je eine Propellerpumpe moduliert hochschalten können. Die Motorsteuerungen werden über eine SPS bedarfsgerecht zugeschaltet und von diesen auch über eine Regelspannung von 0-5 V in der Drehzahl reguliert.

Darüber hinaus speist die Anlage 6 Batterien mit jeweils 90 Ah und einer Spannung von 12 V. Diese dienen der Zwischenspeicherung der Solarenergie. Um etwaige Ausfälle zu kompensieren, wurde außerdem eine Notstromzuspeisung realisiert. Sie kann eingeschaltet werden, wenn der Laderegler die Akkus wegen zu geringer Ladekapazität abschaltet.

Die Dimensionierung der Anlage wurde so berechnet, dass der Energieinput ausreichen muss, um im Sommer pro Tag im Mittel 375 m³ und Maximal bis zu 1875 m³ zu fördern. Im Frühling und Herbst müssen ca. 100 m³/d und im Winter 50 m³/Tag gefördert werden, um einen Milieuwechsel im Filter in anaerobe Verhältnisse zu vermeiden.

Die Energiebilanz wurde im Monats- und Stundenschritt berechnet. Die Monatsbilanz wurde ermittelt mit mittleren solaren Einstrahlungsleistungen der Region.

Die Auslegung erfolgte anhand der folgenden Daten:

Tab. 2 Monatsbilanz

Variable	Wert	Einheit	Bemerkung
WP	700	Wp	Installierte Leistung
V(100)	60	m ³	maximaler Volumenstrom
P(100)	150	W	leistungsaufnahme bei maximalem Volumenstrom
Pumpenanzahl	3	Stk	
A(Filter)	375	m ²	Filterfläche

Monat	Einstrahlung [KW/m ²]	WP [W]	Pumpenleistung [W]	ED	Steuerleistung [W]	Volumenstrom [m ³ /d]	Beschickungshöhe (ist) [mWs/h]	Beschickungshöhe (soll) [mWs/d]
1	20	14000	40,0	0,10	10	38,4	0,1	0,0
2	40	28000	40,0	0,15	10	57,6	0,2	0,1
3	72	50400	210,0	0,16	10	322,6	0,9	0,4
4	110	77000	320,8	0,20	10	616,0	1,6	1,0
5	150	105000	437,5	0,30	10	1260,0	3,4	2,0
6	151	105700	440,4	0,35	10	1479,8	3,9	4,0
7	155	108500	452,1	0,35	10	1519,0	4,1	4,0
8	133	93100	387,9	0,35	10	1303,4	3,5	4,0
9	86	60200	250,8	0,30	10	722,4	1,9	2,0
10	51	35700	148,8	0,20	10	285,6	0,8	0,5
11	22	15400	40,0	0,10	10	38,4	0,1	0,1
12	16	11200	40,0	0,10	10	38,4	0,1	0,0

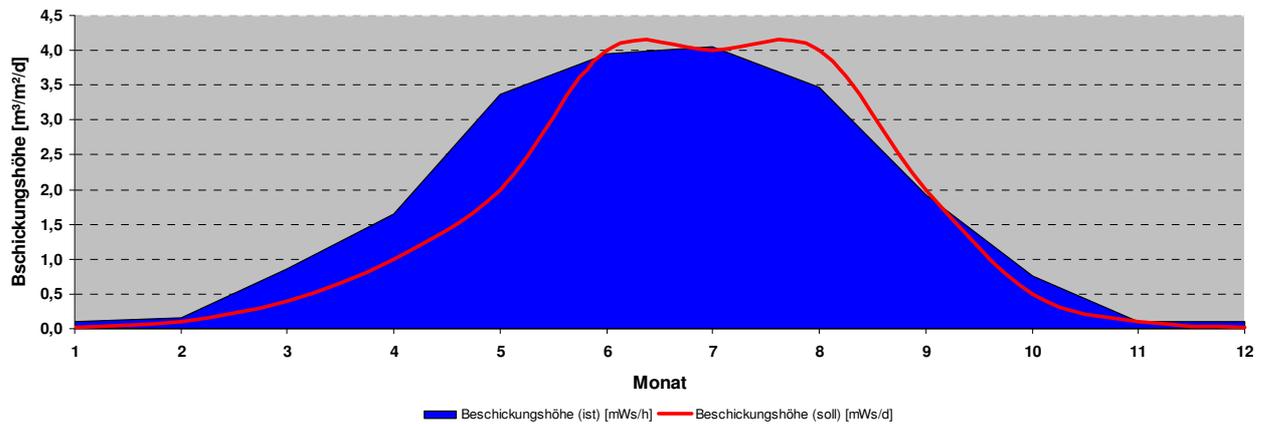


Abb. 3 Soll+Ist Vergleich der Beschickungshöhe

Abb. 3 zeigt den Soll und Ist Vergleich der zuvor berechneten Beschickungshöhe. Die Sollwerte entsprechen den Monatsmittelwerten, die notwendig sind, um für die Wasseraufbereitung gem.

Tab. 1 zu gewährleisten.

Zur Abschätzung der notwendigen Akkukapazität wurde eine Zeitspanne von 4 Tagen im Stundenzeitschritt berechnet. Diese Zeitspanne wurde gewählt, da es sich hierbei um eine typische Reaktionszeit der Badegäste handelt. Erst nach 3 Sonnentagen wird ein Hochlastbetrieb erreicht.

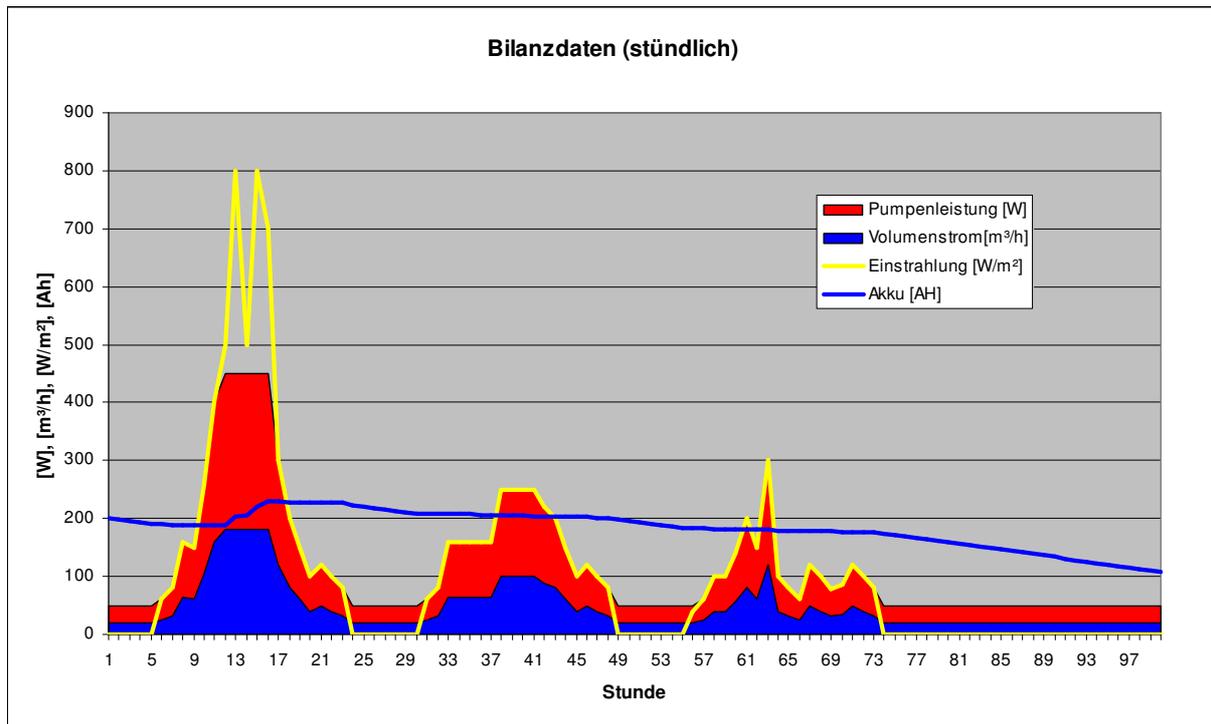


Abb. 4 Energiebilanz mit Berücksichtigung der Akku Ladekapazität und der Pumpensteuerung

Die vorstehende Abbildung zeigt den Beginn einer Schlechtwetterphase. Am zweiten und dritten Tag treten noch geringe solare Einträge auf, die aber über die modulierte Pumpensteuerung entzogen werden. Am 1. Tag weist die Anlage ein deutliches solares Überangebot auf, das in den Akkus gespeichert wird. Am 4. Tag findet kein solarer Eintrag in das System statt. Die Anlagentechnik läuft nun über den gesamten Tag auf Minimumlast. Die Akkukapazität fällt in diesem Zeitraum um 70 Ah.

Vor diesem Hintergrund wurde eine PV-Anlage (Sovello Pure Power T Serie) mit folgenden technischen Daten konzipiert und errichtet:

- Ausrichtung: Süden, 30° Neigung
- Speicherbatterien: 90 AH bei 12 V
- PV-Leistung: 1,08 kwh
- Fläche: 9,8m²

4 Auswertung der Ergebnisse

Der Naturbadesee wurde im Jahr 2011 in Betrieb genommen. Seit dem erhobene Daten werden zur Bewertung der Anlage herangezogen.

4.1 Energetische Auswertung

Eine Übersicht der Betriebsstunden der Pumpen, sowie der Betriebsstunden Füllwasserzuspeisung und der Einspeisestunden aus dem Stromnetz für das erste Betriebsjahr finden sich in

Abb. 5.

Abb. 5.

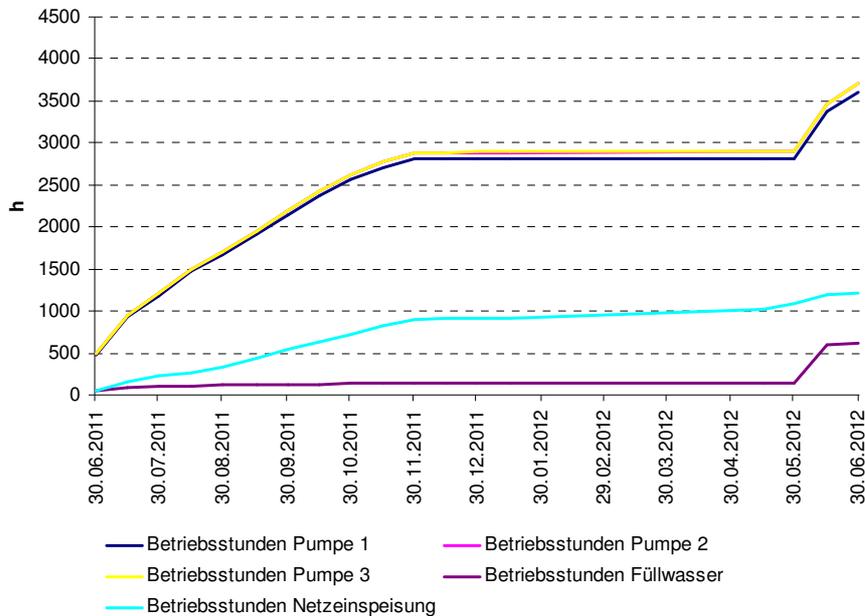


Abb. 5 Betriebsstunden Pumpen, Füllwasser und Netzeinspeisung

Man sieht anhand der Füllwasserstunden, dass im Mai 2012 das Becken wieder aufgefüllt wurde. Ansonsten ist aber nicht viel Füllwasser benötigt worden. Zudem wird ersichtlich, dass im Verhältnis zu den Gesamtbetriebsstunden der Pumpen, die Dauer der Netzeinspeisung um ca. 1/3 geringer lag. Um zu überprüfen, ob Batterie und Photovoltaikanlage ausreichend ausgelegt sind, ist eine Umrechnung auf den Energiegesamtverbrauch und die benötigte Netzleitung erforderlich.

Pumpenleistung:

Die Pumpen sind in den betrachteten 2 Betriebsjahren 19.625 h gelaufen. Die Maximalleistung liegt bei 0,15 kW, die Pumpen werden aber über einen Poti auf eine durchschnittliche Leistung von ca. 0,12 kW geregelt, was einen Verbrauch von 2.355 kW ergibt.

Strombedarf SPS:

Die Steuerung und sonstige Schaltsensorik hat einen Bedarf von ca. 12 W. Für die 2 Betriebsjahre ergibt das einen genährten Verbrauch von ca. 200 kW

Einspeisung aus dem Stromnetz:

Insgesamt wurden die Batterien 2.080 Stunden in den 2 Jahren geladen. Bei einer mittleren Stromstärke von 4 A (auch diese schwankt je nach Batterieladung und wird kurz vor Vollenfüllung sehr gering) und einer Batteriespannung von 24 V ergibt das eine Leistung von ca. 200 kW.

Diese Berechnungen beruhen zwar teilweise auf Annahmen, diese sollten aber nur zu einer geringen Abweichung führen und sind in Bezug auf die Gesamtaussage nicht relevant. Das Verhältnis ist in der folgenden Grafik dargestellt:

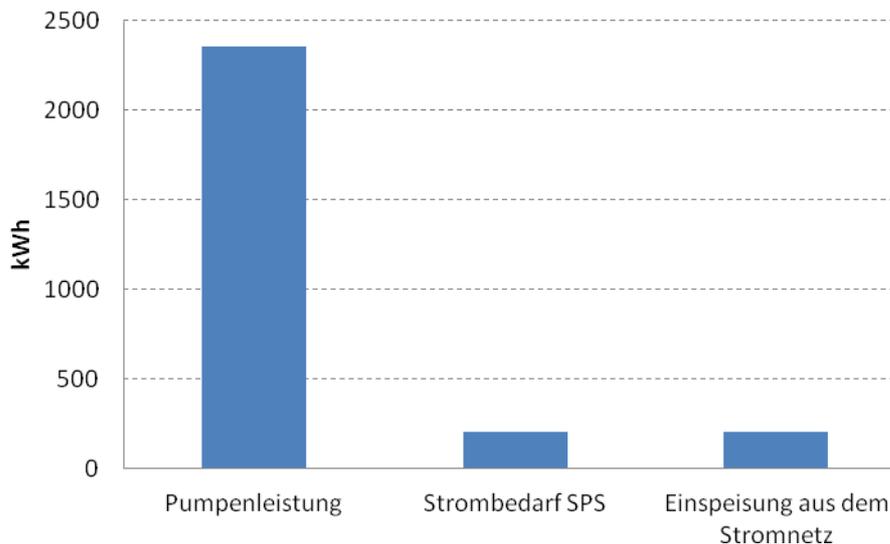


Abb. 6 Verhältnis Strombedarf und Stromeinspeisung

Die Notwendigkeit Strom aus dem Netz einzuspeisen, hing von der jeweiligen Sonnenscheindauer ab und wird im Folgenden noch dargestellt. Der Betrachtungszeitraum liegt zwischen Mai 2011 und Mai 2013.

4.2 Ist die Reduzierung des Strombedarfes der Anlage gelungen?

Der Gesamtstrombedarf der Anlage lag bei 2.550 kWh in 2 Jahren. Dieser Wert ist sehr gering und würde bei einem angenommenen Strompreis 0,25 €/kWh eine Stromrechnung von nur etwa 320 €/a für das gesamte Bad bedeuten. Zudem wird hiervon ja aber auch noch ein Großteil durch Solarenergie abgedeckt.

Vergleicht man den Stromverbrauch pro Jahr mit konventionellen Naturbädern so zeigt sich, dass der Stromverbrauch auch im Vergleich äußerst gering ist. Naturbäder mit einer vergleichbaren Nennbesucherzahl (ausgelegte Besucherzahl) haben, je nach hydraulischem Aufbau, einen Verbrauch von ca. 30.000 kWh im Jahr.

4.3 Konnte der Großteil der benötigten Energie über die Photovoltaikanlage zur Verfügung gestellt werden?

Die Zuspisemenge betrug gemäß Abbildung 6 lediglich ca. 8 % des Gesamtstrombedarfs und liegt damit im Bereich des Strombedarfes für die Steuerung. Die realen Stromkosten (bei Strompreis 0,25 €/ kWh) betragen also etwa 25 € pro Jahr. Die Anlage konnte also zum größten Teil über die PV-Anlage versorgt werden, eine Vollversorgung konnte aber nicht erreicht werden.

4.4 Hygienische physiko-chemische Auswertung

Betrachtet man die hygienische und physikalisch-chemische Auswertung so ist ersichtlich, dass das Bad durchweg eine sehr gute Wasserqualität aufwies. Ein Sichttiefe bis zum Grund war konstant gegeben, die Hygieneparameter lagen immer unter den Grenzwerten und bis auf einen Ausreißer (07.06.11) lagen die für die Trophie bedeutsamen Gesamtphosphorwerte immer unterhalb von den von der FLL empfohlenen Werten. Somit lässt sich festhalten, dass die Wasseraufbereitung erfolgreich funktioniert hat und eine Erhöhung der Anlagenleistung nicht erforderlich war. Außerdem war fraglich, ob der intermittierende Betrieb durch stark unterschiedlichen solaren Ertrag der Anlage für Ausspülungen im Filter sorgt. Dies kann anhand der Ergebnisse deutlich verneint werden, so dass dieser Betrieb aus hygienischen Gründen problemlos möglich ist. Wäre es zu anaeroben Verhältnissen gekommen, wären zu diesem Zeitpunkt die Phosphorwerte stark gestiegen.

Tab. 3 Physiko-chemische und hygienische Auswertung (b.G.=bis Grund)

Datum	Badebecken und Nutzungsbereich					
	Physiko- chemische Parameter			Hygiene		
	Temperatur	Sichttiefe	Gesamt- P	E. coli	Enterokokken	P. aeruginosa
	[°C]		[mg/l]		[KBE / 100 ml]	
HW / GW / RW	25	b.G.	0.01	100	50	10
2011						
24.05.	19.0	b.G.	0.01	6	33	0
30.05.	19.2	b.G.	0.01	3	7	0
07.06.	21.0	b.G.	0.032	1	4	0
14.06.	18.1	b.G.	0.01	0	0	0
21.06.	16.4	b.G.	0.009	1	1	0
29.06.	23.4	b.G.	0.001	2	1	0
07.07.	21.2	b.G.	0.01	2	0	0
14.07.	17.9	b.G.	0.001	13	11	0
19.07.	17.1	b.G.	0.002	0	1	0
28.07.	18.7	b.G.	0.006	2	1	0
04.08.	20.2	b.G.	0.001	0	1	0
09.08.	16.4	b.G.	0.003	1	0	0
15.08.	18.2	b.G.	0.003	1	0	k.M.
25.08.	22.3	b.G.	0.001	93	8	0
30.08.	15.6	b.G.	0.001	0	2	k.M.
08.09.	14.4	b.G.	0.003	1	5	0
19.09.	14.0	b.G.	0.005	0	3	0
2012						
14.03.	6.0	b.G.	0,01 (0,017)	0	0	0
03.04.	7.6	b.G.	0.003	0	0	0
25.04.	10.4	b.G.	0.002	0	0	k.M.
14.05.	15.4	b.G.	0.004	0	3	0
23.05.	20.7	b.G.	0.004	0	5	0
29.05.	22.1	b.G.	< 0,001	0	12	0
06.06.	14.8	b.G.	0.005	1	3	k.M.
13.06.	17.2	b.G.	0.003	1	4	0
19.06.	19.5	b.G.	0.001	0	3	k.M.
26.06.	16.1	b.G.	0.002	0	0	0
04.07.	21.5	b.G.	0.002	1	7	k.M.
11.07.	20.0	b.G.	0.002	0	18	0
19.07.	17.4	b.G.	< 0,001	1	5	k.M.
26.07.	23.7	b.G.	0.014	2	6	0
03.08.	21.9	b.G.	0.007	1	5	0
07.08.	19.4	b.G.	< 0,001	0	0	0
14.08.	19.3	b.G.	0.003	0	2	0
23.08.	22.2	b.G.	0.004	1	3	0
29.08.	18.2	b.G.	0.004	0	4	0
05.09.	18.9	b.G.	0.005	0	2	0
13.09.	15.6	b.G.	0.005	1	2	0
19.09.	16.1	b.G.	0.004	0	1	0
01.10.	12.0	b.G.	0.002	0	1	k.M.
26.11.	4.2	b.G.	0.001	0	0	k.M.
2013						
17.04.	13.7	b.G.	0.004	0	1	k.M.
16.05.	15.2	b.G.	0.002	0	3	0
24.05.	11.4	b.G.	0.002	0	0	0
28.05.	11.2	b.G.	0.011	0	3	0

4.5 Vergleich verschiedener Wetterphasen

Die folgende Abbildung zeigt die Anlage während des Winterbetriebs (=Betrieb außerhalb der Badesaison). Man erkennt, dass immer tagsüber die Akkuleistung leicht steigt und sofort die Pumpen anlaufen.

Allerdings wird in jeder Nacht aufgrund fehlender solarer Einträge Netzenergie benötigt, obwohl die Pumpen nicht laufen. Das bedeutet, dass die Energie für die Steuerung benötigt wird, auch wenn diese nur einen sehr geringen, aber konstanten Energiebedarf (ca. 12 W) hat. Da in dieser Zeit aber ohnehin keine Badegäste anwesend sind, können die Pumpenlaufzeiten deutlich weiter reduziert werden, so dass die Pumpen schon bei einer höheren Batteriespannung als bisher abgeschaltet werden und die Spannung für die Steuerung die ganze Nacht reicht. Dies wurde im April 2013 durchgeführt. Im ersten Monat ist keine Netzeinspeisung benötigt worden, dies muss weiter beobachtet werden.

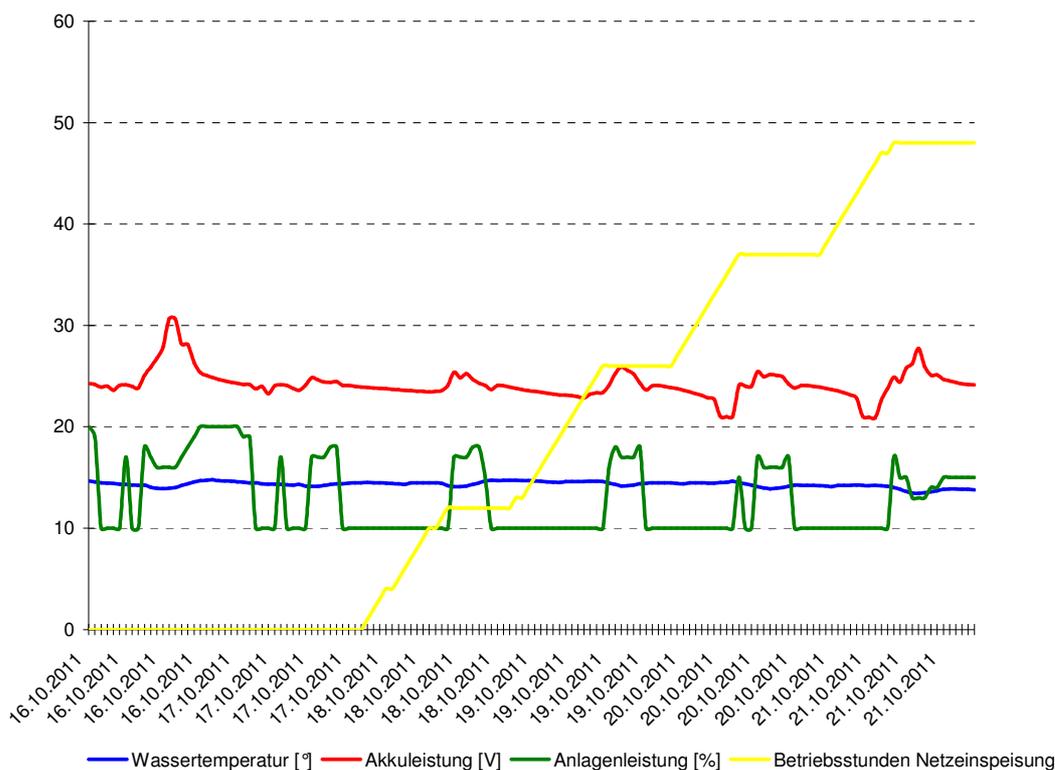


Abb. 7 Wassertemperatur, Akkuleistung, Anlagenleistung und Betriebsstunden Netzeinspeisung während Winterbetrieb Oktober 2011

Als nächstes wird eine Schlechtwetterphase betrachtet. Auswertungen aus dem Jahr 2012 hatten ergeben, dass insbesondere in Schlechtwetterphasen Netzenergie benötigt wurde. In der Grafik ist zu erkennen, dass insbesondere am Tagesanfang (als in der zweiten Nachthälfte) Netzenergie benötigt wird. Dies ist logisch, weil dann die Reserven vom Tag aufgebraucht sind.

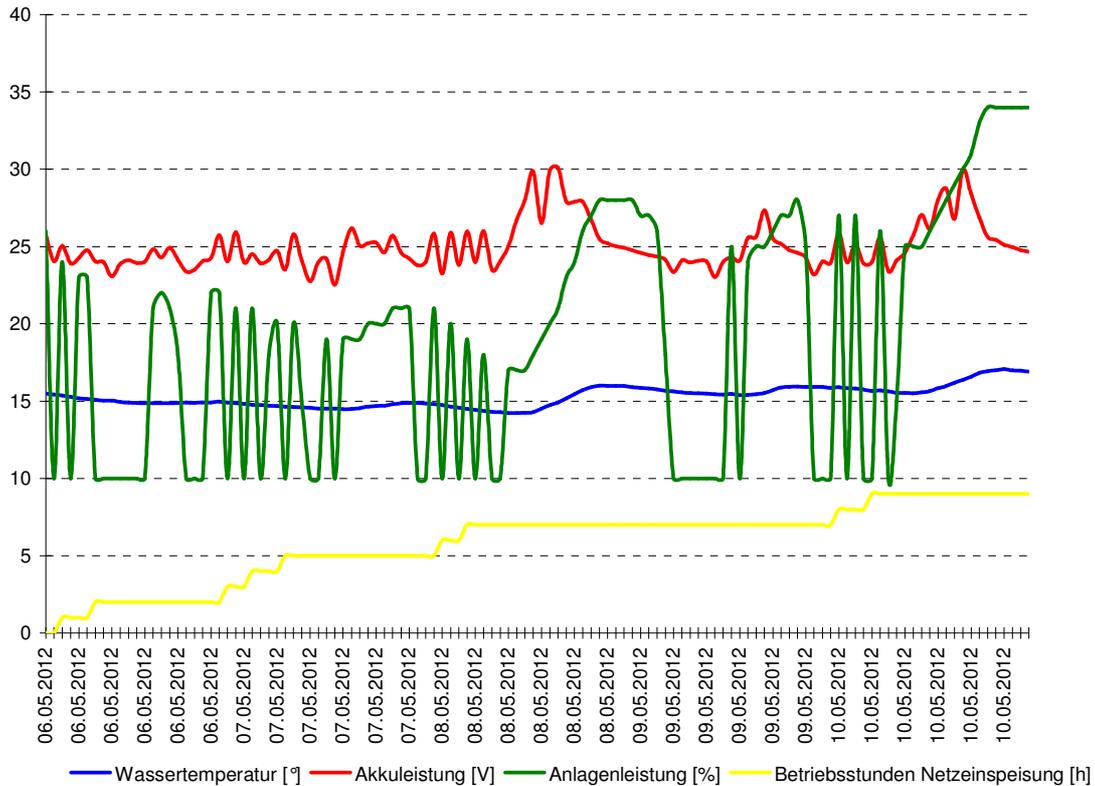


Abb. 8 Wassertemperatur, Akkuleistung, Anlagenleistung und Betriebsstunden Netzeinspeisung während einer Schlechtwetterphase Mai 2012

Da die hygienischen Ergebnisse sehr gut waren, wurde die minimal benötigte Leistung in diesen Phasen daher noch etwas reduziert. Das Ergebnis ist in der nächsten Abbildung zu erkennen. Während zu Beginn der Schlechtwetterphase die Batterien noch voll genug sind tagsüber die volle Leistung bereitzustellen, muss die Leistung in der zweiten Hälfte (ab 21.05.2013) der dargestellten Zeit auch tagsüber mehrmals runtergefahren werden, weil die Leistung nicht mehr ausreicht. Da sich die Batterien, wenn auch langsam durch die vermutlich geringe Strahlung, aber noch schnell genug wieder aufladen, können die Pumpen immer wieder hochgefahren werden. Die minimal benötigte Leistung für diese Wassertemperatur wird nicht unterschritten, so dass keine Netzeinspeisung nötig ist.

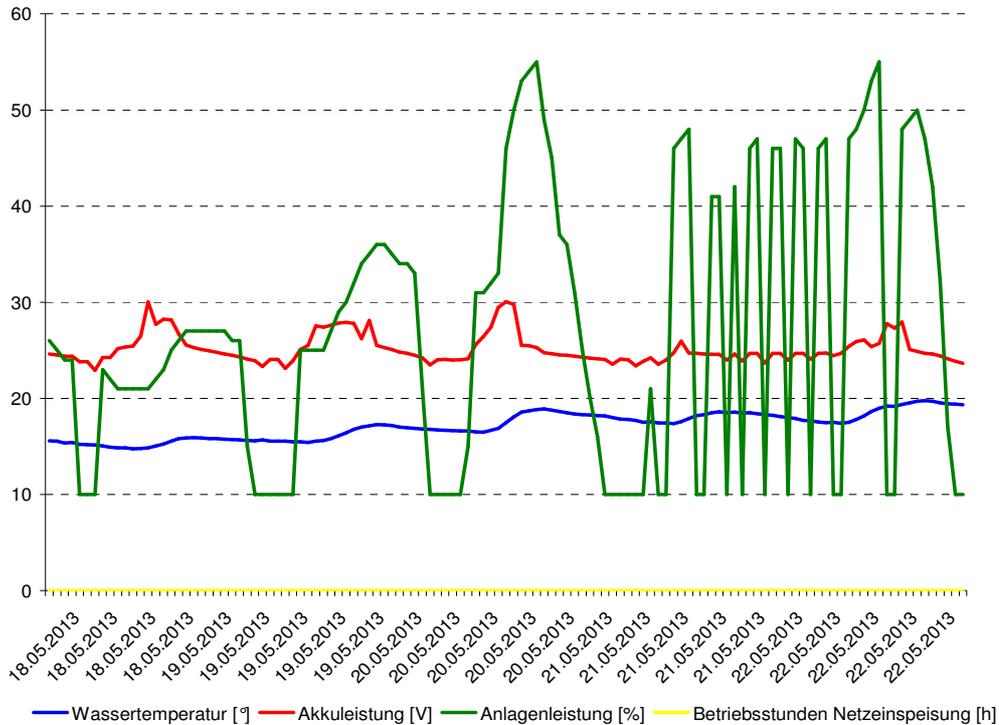


Abb. 9 Wassertemperatur, Akkuleistung, Anlagenleistung und Betriebsstunden Netzeinspeisung während einer Schlechtwetterphase Mai 2013

Als letztes wird eine Schönwetterphase betrachtet. Die Akkuleistung bleibt aufgrund der solaren Einträge konstant höher. Zudem erkennt man wieder das Abschalten der Pumpen aufgrund zu geringer Batteriespannung. In diesem Fall muss allerdings Netzstrom nachgespeist werden, da aufgrund des Wetters Badegäste zu erwarten und eine starke Anlagenlastreduzierung nicht möglich ist. Der Netzstrom reicht allerdings deutlich aus, um die erforderliche Leistung abzudecken. Aufgrund der hygienischen Bewandnis kann hier keine Anpassung der Steuerung erfolgen.

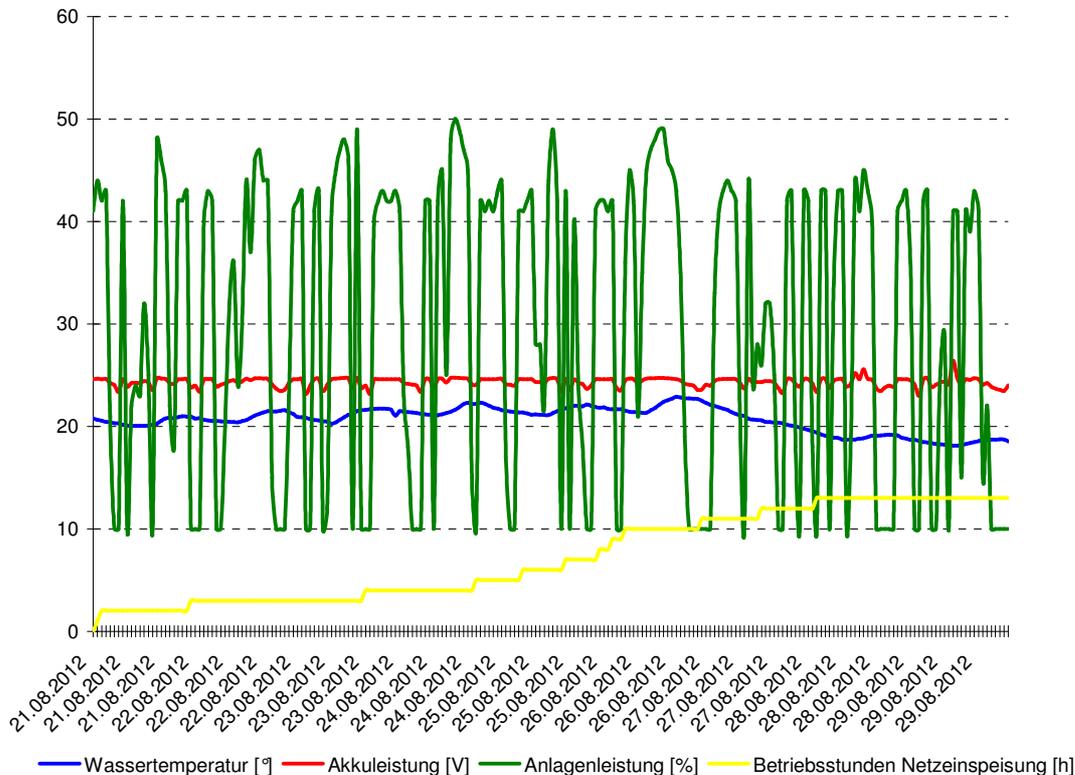


Abb. 10 Wassertemperatur, Akkuleistung, Anlagenleistung und Betriebsstunden Netzeinspeisung während einer Schönwetterphase August 2012

4.6 Was gab es sonst für Probleme?

Im Dezember 2012 sind die Batterien ausgefallen. Eine Überprüfung hat ergeben, dass diese einen Kälteschaden bekommen haben. Das Feriendorf am Eisenberg liegt auf etwa 550 m Höhe, so dass bei ungünstigen Wetterbedingungen über Wochen Schnee liegt. Wenn Schnee auf den Batterien liegt, wird ebenfalls über Wochen keine Wärme produziert. Dann gehen die Batterien selbst bei einer guten Isolierung durch die Abkühlung kaputt, da diese in einem unbeheizten Raum stehen. Daher muss sichergestellt werden, dass die Batterien in einem Raum stehen, dessen Temperatur nicht unterhalb von 8°C fällt.

5 Fazit

5.1 Ausblick und Verbesserungspotential

Abschließend kann festgehalten werden, dass die Ziele in den Punkten Reduzierung des Energieaufwandes, Nachspeisung durch PV-Anlage und Sicherstellung der Badewasserqualität erreicht wurden.

Durch die Anpassung der Steuerung wurde die Zeit der Netzeinspeisung nochmal deutlich reduziert. Allerdings war auch vor der Umprogrammierung meist nur eine geringe Energiemenge zur Aufrechterhaltung der Steuerung erforderlich.

Bei Schönwetterphasen kann aber noch teilweise Energie benötigt werden, um die benötigte Leistung bereitzustellen. Die Batterien konnten zudem auch nur bis minimal 23 V entladen werden, um Schäden an den Batterien und den zu versorgenden Modulen zu verhindern.

Eine Vollversorgung ließe sich nur durch eine größere PV-Anlage und größere Batterien verhindern. Ökonomisch ist dies aufgrund von jährlichen Stromkosten von 25 € (vor der Umprogrammierung, die weiter Energie spart) nicht sinnvoll.

Als ökologischere und kostengünstigere Alternative könnte versucht werden, ein in der Nähe befindliches Quellgebiet für die Speisung des Sees zu nutzen. Auch dies kann energieneutral über einen Solarstromgenerator erfolgen. Momentan wird Leitungswasser verwendet.

6 Anhang

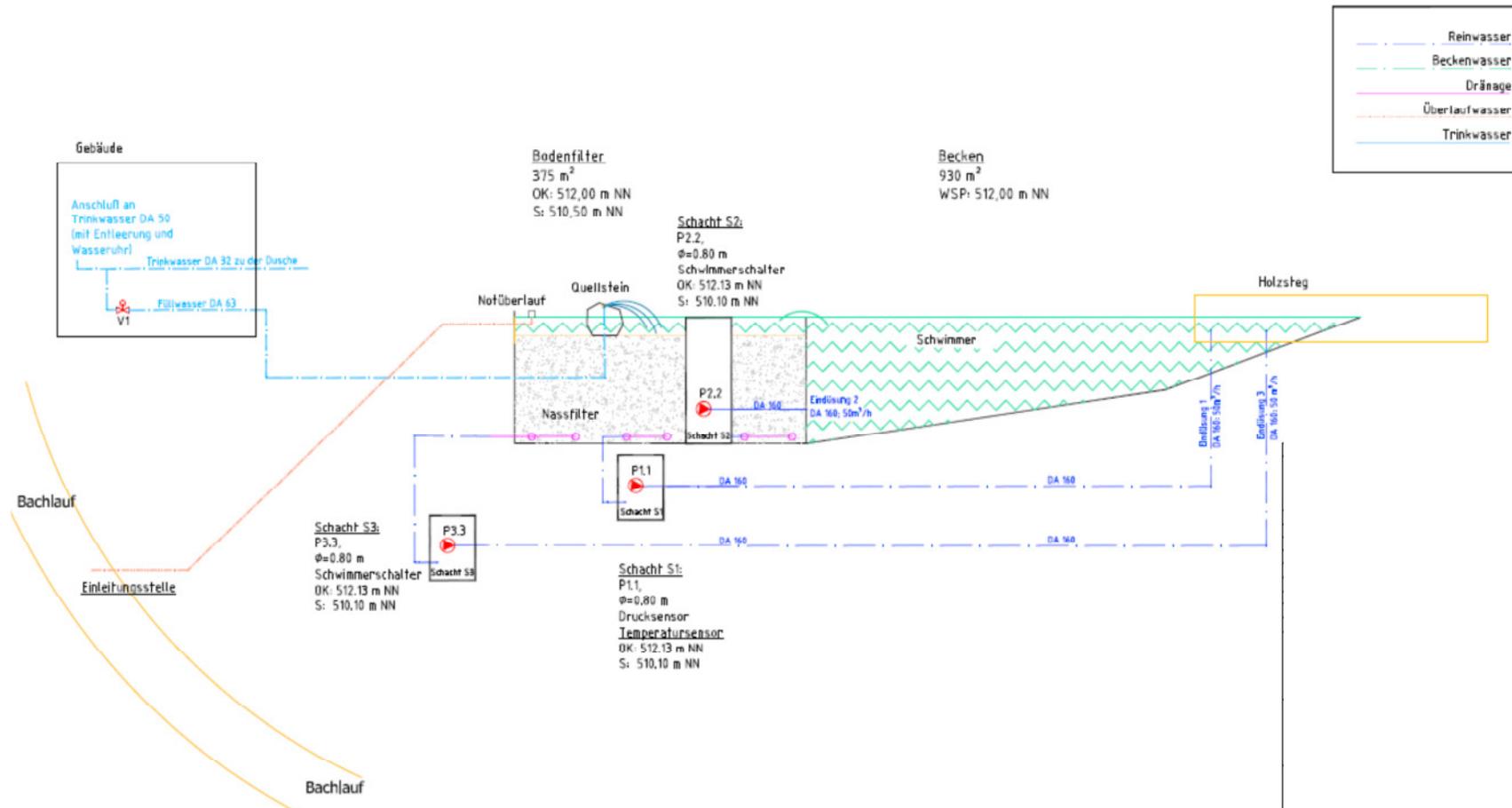


Abb. 11 Hydraulikschema